

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ



Bakalářská práce

**Hodnocení tribologických vlastností elektrolytických
povlaků Zn u tenkých plechů**

2011

Marek Dvořák

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Hodnocení tribologických vlastností elektrolytických povlaků Zn u
tenkých plechů**

**Evaluation of tribological properties of electrolytic zinc coating of
thin plates**

Marek Dvořák

KSP – TP

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.

Kozultant diplomové práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	59
Počet tabulek	9
Počet příloh	3
Počet obrázků	45
Počet grafů	5

Datum: 27. 5. 2011

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Student: Marek Dvořák
Téma práce: Hodnocení tribologických vlastností elektrolytických povlaků Zn u tenkých plechů
Evaluation of tribological properties of electrolytic zinc coating of thin plates
Číslo BP: KSP - TP
Vedoucí BP: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je porovnat a vyhodnotit mikrogeometrické parametry a tribologické vlastnosti elektrolyticky pozinkovaných plechů.

Teoretická část je zaměřena na význam použití elektrolytických povlaků Zn v automobilovém průmyslu, výrobu a vlastnosti elektrolytických povlaků Zn a na tribologii v tvářecích procesech.

Praktická část se věnuje zjištění koeficientu tření pro materiály s elektrolytickým povlakem Zn a mikroskopickému hodnocení povrchu testovaných substrátů. Na základě výsledků testovaných materiálů je vyhodnocen nejkvalitnější povrch pro zpracování hlubokým tažením.

Abstract:

The aim of bachelor thesis is to compare and evaluate microgeometric parameters and tribological properties of electrolytic galvanized sheet metal.

The theoretical part is focused on the importance of using electrolytic zinc coatings in the automotive industry, production and properties of electrolytic zinc and tribology in metal forming processes.

The practical part is dedicated to finding the coefficient of friction materials for electrolytic zinc-coated surfaces and microscopic evaluation of the tested substrates. Based on the results of the tested materials is an evaluation of the best surface for the deep drawing process.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Chotětově, 27. května 2011

.....

Marek Dvořák
Palackého 24
294 28 Chotětov

Poděkování

Děkuji Ing. Michaelle Kolnerové, PhD. a Ing. Jiřímu Sobotkovi, PhD. za pozitivní přístup a odborné vedení bakalářské práce, připomínky, poskytování cenných rad, konzultací, materiálů a informačních podkladů. Dále děkuji Dr. Ing. Ivanu Kubíkovi, ze ŠKODA AUTO, a. s., a Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za poskytnutí pomoci při získávání materiálů a další cenné rady.



OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
1. ÚVOD	10
2. MATERIÁLY NA VÝROBU KAROSÁŘSKÝCH DÍLŮ	11
2.1. Výroba plechů pro složité karosářské výlisky	11
2.2. Povlaky	13
2.2.1. Zinkové povlaky	13
2.3. Technologie žárového zinkování - HDG	13
2.3.1. Metody texturování pracovních válců	14
2.4. Technologie galvanického (elektrolytického) zinkování - EG	15
2.4.1. Pozinkovací komora	16
2.4.2. Krystalizace při elektrolýze	17
2.5. Porovnání EG a HDG pozinkovaných plechů	18
2.6. Povrchy povlaků	19
2.6.1. Hodnocení geometrie povrchu ve 2D	19
2.6.2. Hodnocení geometrie povrchu ve 3D	21
2.7. Výroba dílů karoserie - technologie tažení	22
2.7.1. Vliv technologických parametrů na proces hlubokého tažení	22
2.8. Tribologie	24
2.8.1. Tření	24
2.8.1.1. Tření za sucha	24
2.8.1.2. Kapalinné, mezní a smíšené tření	24
2.8.2. Modelování tření při tažení	25
2.8.3. Opotřebení	27
2.8.4. Mazání při tažení	27
2.8.5. Druhy maziv používaných při tažení	27
2.8.5.1. Požadavky na maziva	28
2.8.5.2. Rozdělení maziv	28
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
3.1. Testované substráty	29
3.1.1. Hodnocení stavby krystalů testovaných substrátů	31
3.1.2. Měření geometrie povrchů testovaných substrátů	33
3.1.3. Materiálové charakteristiky testovaných substrátů	33



3.2. Maziva použita při experimentu	34
3.3. Tribologické zařízení SOKOL 400	34
3.3.1. Popis zkušebního zařízení	35
3.3.2. Čelisti použité při tribologické zkoušce	35
3.4. Příprava vzorků na tribologickou zkoušku	36
3.4.1. Zařízení na měření množství maziva.....	37
3.5. Experimentální měření koeficientu tření	37
3.6. Vyhodnocení tribologické zkoušky – určení koeficientu tření	39
3.7. Naměřené výsledky tribologické zkoušky	42
4. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	45
4.1. Rozbor koeficientu tření u substrátu ArcelorMittal	45
4.1.1. Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu – ArcelorMittal	46
4.2. Rozbor koeficientu tření u substrátu ThyssenKrupp	48
4.2.1. Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu – ThyssenKrupp....	49
4.3. Rozbor koeficientu tření u substrátu Voestalpine	51
4.3.1. Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu – Voestalpine	52
4.4. Hodnocení protažených materiálů s olejem ACPL3802-39S	54
4.5. Hodnocení protažených materiálů s olejem Multidraw PL691	55
5. ZÁVĚR	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Rozměr	Význam
A_{80mm}	%	celková tažnost materiálu
EG		elektrolyticky pozinkovaný plech
EBT		Electron Beam Texturing
EDT		Electric Discharge Texturing
F_h	N	velikost maximální síly v ustálené části
F_{max}	N	maximální síla
F_{min}	N	minimální síla
F_N	N	normálová síla
F_S	N	střední síla
F_t	N	celková třecí síla
F_T	N	tažná síla
ΔF	N	velikost rozkmitu sil
F_p	N	přidržovací síla
f	Hz	frekvence snímání dat
H	MPa	tvrdost materiálu
HDG		žárově pozinkovaný plech
h	mm	tloušťka vrstvy maziva
LT		Laser Texturing
l	mm	maximální měřená délka
l_c	mm	mezní vlnová délka
l_n	mm	vyhodnocovaná délka pro profil drsnosti
l_p	mm	délka měřeného úseku protahovaného pásku
l_r	mm	základní délka
l_t	mm	délka měřeného úseku
p	Pa	přidržovací tlak
Pretex		Preussag Texturing
P_t	μm	hloubka profilu
Q	N	normálová přitlačná síla
R	N	radiální síla
R_a	μm	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_c	μm	průměrná výška elementů
R_m	MPa	smluvní mez pevnosti materiálu



Rz	μm	maximální výška profilu
Rp _{0,2}	MPa	smluvní mez kluzu materiálu
RPc	cm^{-1}	počet výstupků
Rpk	μm	redukováná výška špiček
Rq	μm	střední kvadratická hodnota drsnosti
Rt	μm	největší hloubka drsnost
SBT		Shot Blast Texturing
S	mm^2	činná plocha styku
s		směrodatná odchylka výběru
s _p	mm	tloušťka pásu
T	°C	teplota
T	N	tangenciální síla
v	ms^{-1}	rychlost pohybu
vt	ms^{-1}	rychlost posuvu
v	ms^{-1}	lineární rychlost pohybu třecích povrchů
Wt	μm	hloubka vln
\bar{x}		aritmetický průměr hodnoty
λ	nm	světelný zdroj laseru
η	Pa.s	dynamická viskozita
μ		koeficient tření
ρ	gcm^{-3}	hustota
C		uhlík
Cl		chlor
Cu		měď
Fe		železo
Mo		molybden
Mn		mangan
N		dusík
Ni		nikl
P		fosfor
S		síra
Si		křemík
Zn		zinek

1 ÚVOD

V současnosti se klade velký důraz na design, kvalitu a čistotu zpracování karoserie automobilu, proto je nesmírně důležité vyrábět s maximální pečlivostí a nejlepšími dostupnými technologiemi.

Škoda Auto a.s., největší český výrobce automobilů, je jedním ze stěžejních článků českého hospodářství. Z hlediska prosperity si nesmí dovolit zaostávat za konkurencí ani v nejmenších detailech - ty by v důsledku mohly znamenat nejen špatnou reputaci firmy, ale i její ziskovost.

Mezi největší odběratele ocelí patří bezesporu automobilový průmysl. V automobilovém průmyslu se ocel zpracovává několika způsoby. Tím stěžejním zpracováním je technologie zpracování plechů, do které se řadí zpracování tenkých plechů na výrobu karosářských výlisků. Jedná se o technologii tažení, kdy se z rovinného přístřihu zhotovují složité nesymetrické tvary a obrysy dílů karoserie. Při jejich tažení je plech namáhán komplexním přetvářením - napjatost tah-tlak, rozšiřování a ohýbání.

V minulosti se na výrobu karosářských výlisků používaly převážně klasické ocelové plechy bez povlaků. Výrobci automobilů však byli kritizováni za nižší životnost vozidla, právě pro nedostačující korozní odolnost karoserie. Z těchto důvodů začali automobiloví výrobci spolupracovat s odborníky, kteří se specializovali na antikorozi úpravy karoserií. Začala nová éra výroby tenkých plechů s různými typy ochranných povlaků a povrchů, zvláště pak antikorozních, aplikovaných na klasické materiály.

Z hlediska mnoha důvodů je stále nejvhodnějším řešením technologie povlakování ocelových plechů zinkem. Povlaky zinku se v automobilovém průmyslu dostaly do popředí především díky své nízké ceně a katodické ochraně ocelového plechu proti korozi. Existuje celá řada způsobů výroby povlaků, kterou používají různí výrobci plechů. Ti by měli zajistit nejen kvalitní výrobu povlaků, ale i podmínky zpracování, které by měly odpovídat standardům zpracovatele plechů vyrobených dílů.

Cílem bakalářské práce je porovnat mikrogeometrické parametry a tribologické vlastnosti plechů, opatřených zinkovým povlakem, vyrobeným galvanickým pokovováním od třech různých výrobců a dodavatelů pro Škoda Auto, a. s.. Porovnat hodnoty jednotlivých výsledků tribologie s ohledem na zadírání povrchu. Provést hodnocení povrchu jednotlivých povrchů pomocí elektronové a optické mikroskopie. Dle získaných výsledků vyhodnotit kvalitu povrchů pro zpracování hlubokým tažením.

2 MATERIÁLY NA VÝROBU KAROSÁŘSKÝCH DÍLŮ

Škoda Auto a.s. patří v současné době k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem průmyslové výroby. Dle průzkumových statistik byly automobily ŠKODA vyhlášeny jako nejprodávanější vůz roku 2010. Za úspěchem lze vidět strategii výroby vozů, která kladе vysoké požadavky materiálové, vzhledové a současně i bezpečnostní. Jedním z hlavních faktorů při volbě vhodného materiálu pro lisování složitých karosářských dílů z tenkých plechů je tvařitelnost.

Aby dodavatelé tenkých karosářských plechů mohli úspěšně prodávat své produkty, musí se zabývat problémy a vývojem, které jsou spojeny s tažením složitých karosářských dílů.

Tenké ocelové plechy, používané na výrobu karoserií, jsou konstrukční materiály, u kterých se stále zpřísňují požadavky. Standardní nízkouhlíkové ocelové plechy se na stavbě karoserie dnes vyskytují jen v malé míře, protože je již nahradily plechy povlakované. Tyto plechy musí splňovat vysoké požadavky jak na dobrou lisovatelnost, tak musí ochranný povlak účinně působit proti korozi. Zároveň, aby plechy pro karosářské výlisky vyhovovaly vysokým požadavkům zpracovatelů na dobrou lisovatelnost a vzhledové vlastnosti, vytváří se na jejich povrchu morfologie s požadovanou mikrogeometrií.

2.1 Výroba plechů pro složité karosářské výlisky [1, 3, 4, 5]

Pro výrobu plechů se používá technologie válcování, která se dělí na:

- válcování za studena
- válcování za tepla

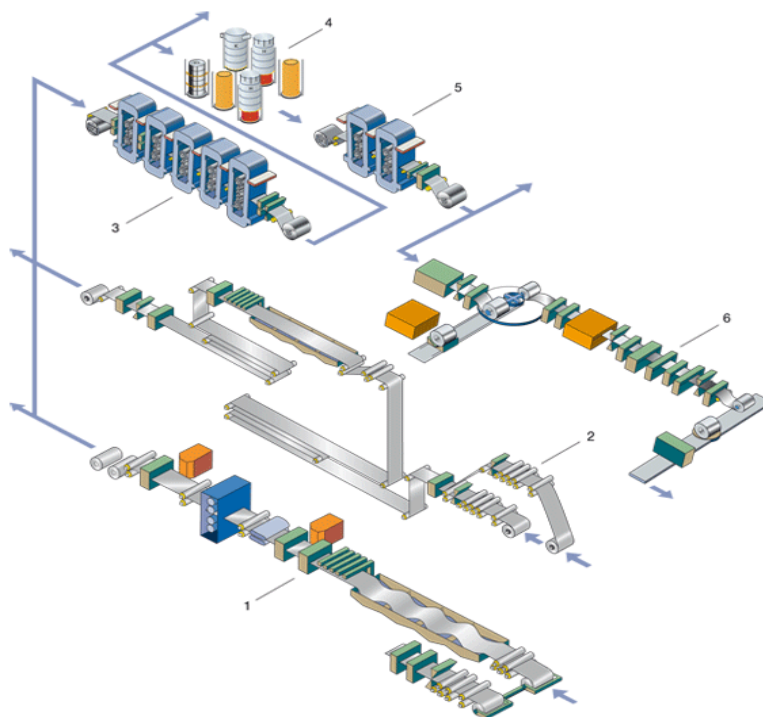
Na výrobu tenkých plechů určených pro složité karosářské díly obr. 2.1. se používá technologie válcování za studena.



Obr.2.1.: Karoserie automobilu svařená z jednotlivých výlisků – ŠKODA FABIA [2]

Válcováním za studena se vyrábí plechy s výrazně nižšími tloušťkami oproti plechům válcovaným za tepla, u kterých je nejnižší hranice tloušťky 4mm a slouží jako polotovary pro studené válcovací linky.

Zastudena vyválnované plechy se vyznačují vysokou kvalitou povrchu, přesností a výbornou tvařitelností. Schéma zařízení na válcování plechu za studena skládající se z více linek a stolic je zobrazeno na obr. 2.2..

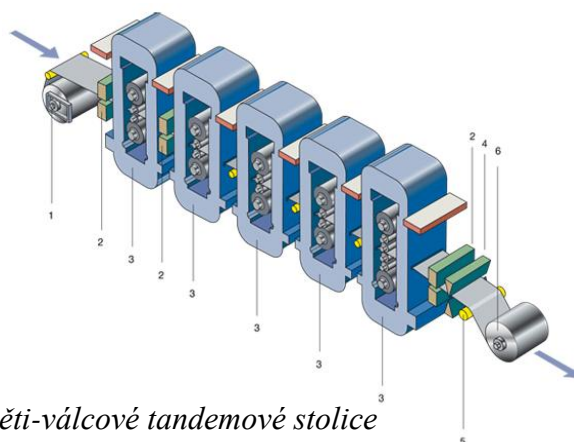


(1) rovnací linka, (2) kontinuální mořící a odrezovací linka, (3) tandemová válcovací stolice s pěti válci, (4) žhací pece, (5) hladicí válcovací stolice (6) kontrolní linka

Obr.2.2.: Schéma studené válcovací linky [6]

Hlavním parametrem při výrobě tenkých plechů je tloušťka. Ke ztenčení tloušťky a k vlastnímu rozválnování na tenký plech dochází v tandemové válcovací stolici, která je zobrazena na obr. 2.3.

(1) odvíjení svitku (2) měření tloušťky a regulace (3) válcovací stolice (4) nůžky (5) měření rovinnosti (6) navíjení svitku



Obr. 2.3.: Schéma pěti-válnkové tandemové stolice

Škoda Auto z pozice odběratele karosářských plechů vyžaduje od dodavatelů pouze materiály s ochrannými povlaky.

2.2 Povlaky [7, 8, 9]

Existuje mnoho druhů povlaků, které splňují různé uživatelské nároky, proto se při povlakování přihlíží k účelu použití. Účely použití povlaku mohou být dekorativní, ochranné aj. Následující kapitoly se zabývají ochrannými povlaky zinkem.

2.2.1 Zinkové povlaky

Požadavkem výrobců automobilů bylo, aby ocelová karoserie nekrátila životnost vozidla, z tohoto důvodu se začaly používat plechy se zinkovými povlaky.

Zinkové povlaky jsou nejvhodnějším řešením především díky své ceně a antikorozi katodické ochraně ocelového plechu. Ochranné vlastnosti zinku na plechu, použitého při výrobě automobilové karoserie, jsou především komplexní odolnost dílu vůči korozi, oddálení nebo úplné zamezení korodování ve spárách, záhybech, oblastech dutin a míst ovlivněných svářeními.

Zinkové povlaky se mohou zhotovit několika způsoby, např. žárovým nástřikem, mechanicko-chemickým nanášením, nátěry s vysokým obsahem zinku nebo termodifúzní kondenzací par ve vakuu.

V automobilovém průmyslu se nejčastěji používají plechy galvanicky a žárově pozinkované, jejichž tvorba a vlastnosti jsou popsány v dalších kapitolách.

2.3 Technologie žárového zinkování - HDG [10, 11, 12]

Technologie žárového zinkování patří mezi základní způsoby vytváření protikorozi ochrany. Povlak je vytvářen ponořením součásti do roztaveného zinku. Proces zinkování probíhá v rozmezí teplot 440-470°C, kde dochází k reakci s ocelí a vrstva zinku narůstá lineárně se stoupající teplotou a dobou až na 200μm.

Proces žárového zinkování navazuje přímo na válcování za studena. Pracovní postup obsahuje čištění, zahřátí, zinkování a hladicí válcování. U elektrolytického zinkování bývají tyto procesy oddělené. Očištěné pásy plechu jsou zahřívány v peci s redukční ochrannou atmosférou na teploty 700-850°C (dle požadovaných vlastností oceli). V následné části je plech ochlazován a poté vstupuje do zinkové lázně s regulovatelnou teplotou, která nesmí přesáhnout 470°C (při překročení této teploty je až 4x větší rozpustnost železa v zinkové lázni). Na drezírovací válcovací stolici je plech dodatečně opracován a před navíjením je k němu přidán konzervační olej.

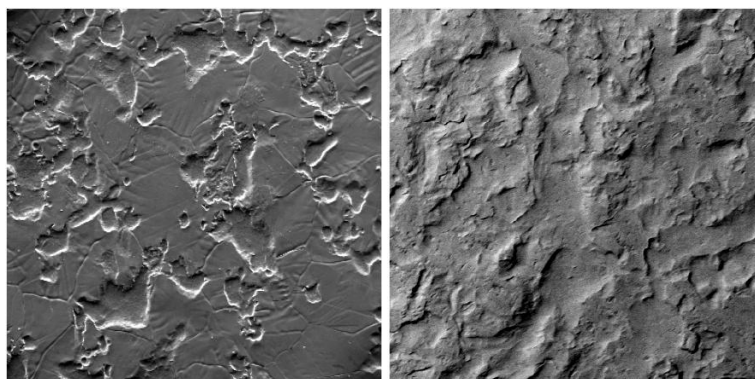
Pro vytvoření potřebné morfologie na plechu se drezírovací válcovací stolice osazují pracovními válci s rozdílnou texturou, které tvoří negativ budoucích plechů.

Výrobci plechů se snaží najít takovou texturu, která bude plnit svou úlohu, jak při samotném lisování (neboť určuje schopnost povrchu plechu plnit se mazacími oleji, jež jsou důležitým pomocníkem při vlastním tažení), tak při konečném vzhledovém hodnocení (zajistit kvalitu laku pro estetický dojem na karoserii automobilu).

2.3.1 Metody texturování pracovních válců [13, 14, 15, 16]

Metoda EDT (Electrical Discharge Texturing)

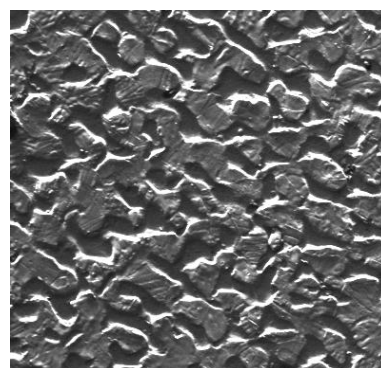
Metoda elektrojiskrového texturování byla vyvinuta s cílem nahradit metodu SBT (Shot Blast Texturing), čili otryskávání jemnozrnným granulátem. Mezi největší výhody oproti SBT patří schopnost těsně opakovat reliéf a schopnost vytvořit textury na rozměrově větších hladicích válcích. Morfologie je vytvářena řadou elektrojiskrových výbojů na povrchu pracovního válce. Charakteristický povrch získaný metodou SBT a EDT je vidět na obr.2.4.



Obr.2.4.: Povrch plechu získaný metodou - vlevo EDT, vpravo SBT, zvětšeno 500x [17]

Metoda EBT (Electron Beam Texturing)

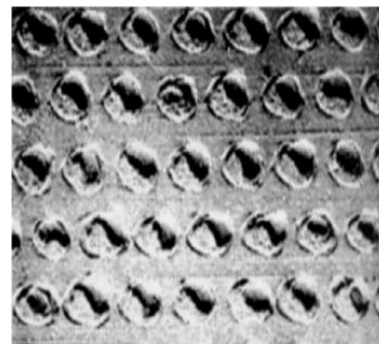
Při metodě EBT je texturovaný válec umístěn ve vakuu, kde se otáčí se a dopadají na něj elektronové paprsky z elektronového děla. Tyto paprsky vytvářejí krátery, nejčastěji o průměru 150 μ m. Výhodou je, že při texturování nepůsobí vnější atmosféra a okraj vytvořený z nataveného kovu není zoxidován. Charakteristický povrch karosářského plechu získaný metodou EBT je vidět na obr.2.5..



Obr.2.5.: Povrch plechu získaný metodou EBT, zvětšeno 500x [17]

Metoda LT (Laser Texturing)

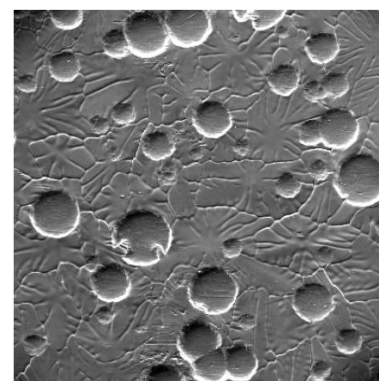
Metoda LT využívá energii laserového paprsku, který natavuje texturovaný válec a vytváří geometrickou řadu drobných mazacích kráterků. Z důvodu velkých nákladů a dlouhého času vytváření textury, nenašla tato technologie velkého uplatnění. Charakteristický povrch získaný metodou LT je vidět na obr.2.6..



Obr.2.6.: Povrch plechu získaný metodou LT, zvětšeno 500x [17]

Metoda Pretex (Preussag Texturing)

Metodou Pretex je vytvářena textura pomocí elektrolýzy. Válec je vložen do nádoby s elektrolytem chromu. Nádoba je anoda a hladicí válec katoda. Na válec je vylučován povlak chromu, který má náhodnou důlkovou morfologii povrchu. Charakteristický povrch získaný metodou PRETEX je vidět na obr.2.7..



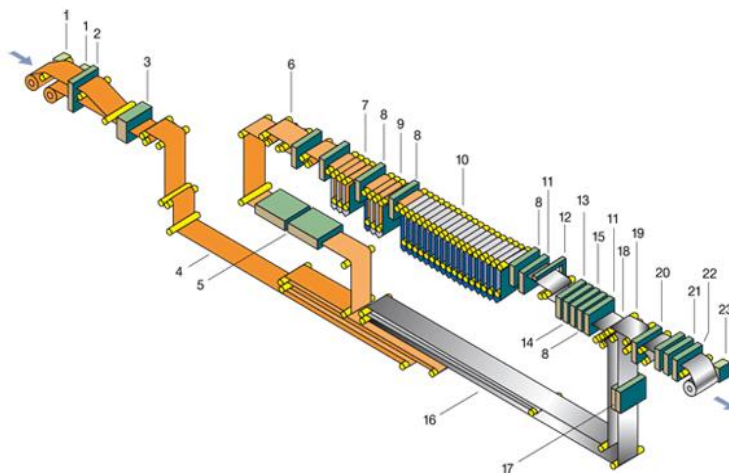
Obr.2.7.: Povrch plechu získaný metodou PRETEX, zvětšeno 500x [17]

2.4 Technologie galvanického zinkování - EG [18, 19, 20]

Technologie galvanického (elektrolytického) zinkování je děj s průchodem elektrického proudu kapalinou (elektrolytem). Je to proces katodického vylučování kovu z jeho kationtů. Ocelové plechy jsou katodou, na které se elektrochemicky vyloučí povlak zinku, jehož tloušťka se od 1-35 μm , u plechů určených pro automobilové karosářské výlisky je to 7-10 μm . Způsob elektrolytického pozinkování zajišťuje vysokou chemickou čistotu povlakové vrstvy a rovnoměrnou kontrolovatelnou tloušťku povlaku (odchylka $\pm 0,1 \mu\text{m}$).

Výchozím materiálem pro elektrolytické povlakování zinkem jsou tenké plechy válcované za studena. Zařízení pro galvanické zinkování se skládá z několika částí, které tvoří ucelenou linku viz obr.2.8.. V prvním stupni je ocelový pás vyrovnán, a aby byl zaručen dokonalý zinkový povlak, je pás mechanicky a elektrochemicky očištěn. V druhém stupni vstupuje plech do mořicí lázně, kde se aktivuje. Za mořicí

lázní následuje galvanická pozinkovací komora, kde je elektrolyticky vytvářen povlak zinku. Za pozinkovací komorou je oplachová lázeň a další zařízení pečující o povrch.

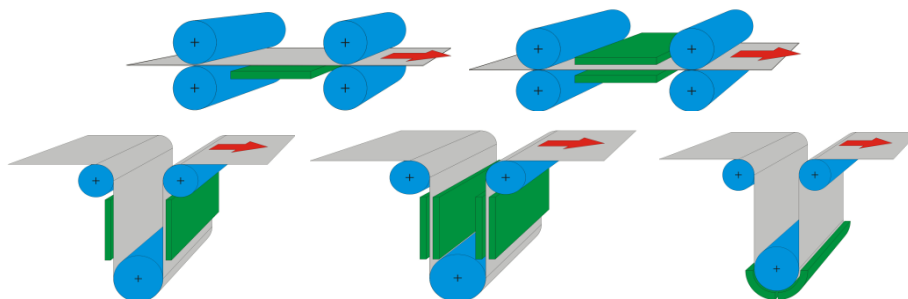


(1) odvíjení svitku, (2) zarovnávání plechu, (3) svařovací stroj, (4) zásobník plechu, (5) předúprava plechu (6) vyrovnání pásového plechu, (7) elektrolytické čištění (8) oplachová lázeň, (9) mořící lázeň, (10) elektrolytické pokovování zinku, (11) sušení, (12) kontrola tloušťky zinkového povlaku, (13) oplachování, aktivace před fosfátováním (14) fosfátování, (15) pasivace, (16) výchozí zásobník plechu, (17) kontrolní stanice, (18) kontrola povrchu, (19) měření nerovností (20) zarovnávání okrajů, (21) elektrostatická maznice, (22) kontrola olejového mazání, (23) navíjení do svitku

Obr.2.8.: Schéma linky na elektrolytické pozinkování plechů[21]

2.4.1 Pozinkovací komora

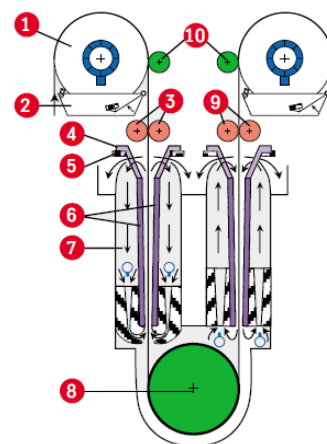
Jak již bylo uvedeno výše samotný povlak je tvořen v pozinkovací komoře, jež může mít dle konstrukce jednostranné nebo oboustranné uspořádání elektrod a zinkování se uskutečňuje v pozici horizontální, vertikální nebo radiální, viz obr.2.9..



Obr.2.9.: Schémata základního uspořádání anod při galvanickém pozinkování [9]

Ionty zinku jsou rozpuštěny v elektrolytu a působením elektrického napětí se vylučují na procházejícím plechu. Princip vylučování zinku je zobrazen na obr.2.10..

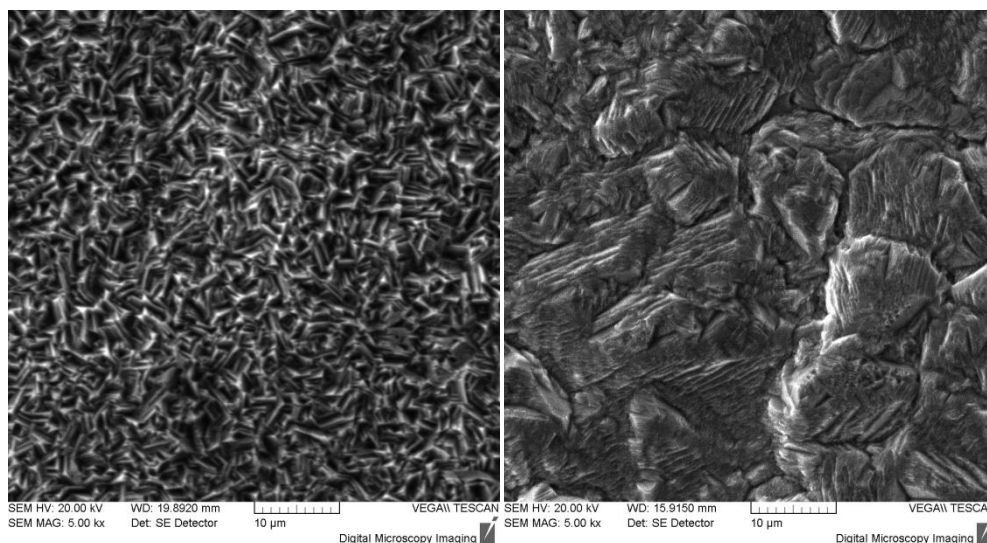
(1) vodící válec, (2) lázeň pro vodící válec, (3) usměrňovací válce (4) vrchní část elektrody, (5) připojení k anodě, (6) zinkové anody, (7) elektrolyt (8) ponořený válec pokrytý pryží, (9) stírací válce, (10) přítlačné válce



Obr.2.10.: Princip vylučování zinku ve vertikální zinkovací komoře s oboustrannými elektrodami [22]

2.4.2 Krystalizace při elektrolýze

Z již uvedených faktů vyplývá, že podmínky při krystalizaci zinku nejsou vždy stejné. Každý výrobce zinkového povlaku má své „know-how“ a to se projevuje ve struktuře povlaku. Podle podmínek elektrochemického vylučování, především podle složení lázně (množství chemikálií, jejich poměru atd.), proudové hustoty, rychlosti krystalizace a Reynoldsova čísla, které dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu, se mění charakter morfologie povrchu. Ve struktuře se mohou vyskytovat krystaly izolované, orientované soubory rovnoběžných krystalů a náhodně orientované krystaly, které tvoří souvislou vrstvu galvanicky vyloučeného zinku. Pro příklad jsou na obr.2.11. zobrazeny dva typy povrchů.



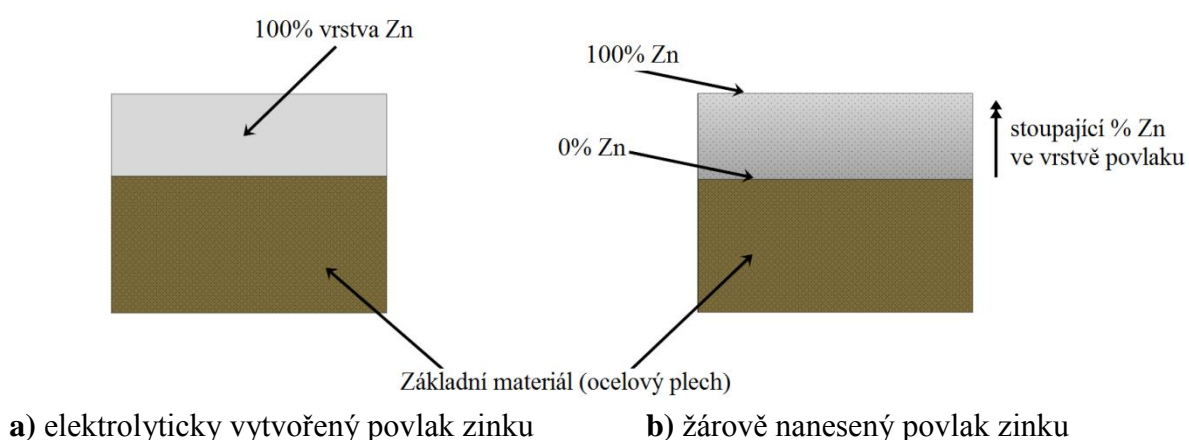
Obr.2.11.: Morfologie povrchu elektroliticky vyloučeného zinku, povlak vlevo má jemnozrnnější strukturu s ostrými vrcholky vykrystalizovaného zinku, povlak vpravo má hrubozrnnější lamelovou strukturu s viditelnými ploškami na povrchu

2.5 Porovnání EG a HDG pozinkovaných plechů [9]

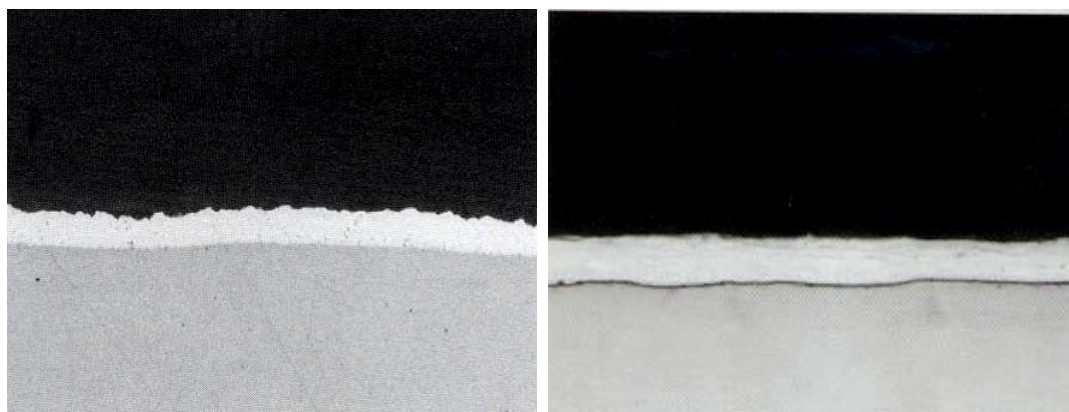
Na obr.2.12. a obr.2.13. je zobrazeno rozdílné rozložení zinku pro jednotlivé technologie výroby zinkových povlaků.

Základní výhody elektrolytického zinkování

- při procesu nedochází k tepelné úpravě, proto nejsou ovlivněny původní mechanické vlastnosti materiálu
- proces umožňuje přípravu tenkých zinkových povlaků, a tyto povlaky budou mít vždy 100% obsahu zinku v celé tloušťce povlaku
- proces umožňuje výrobu i jednostranných povlaků



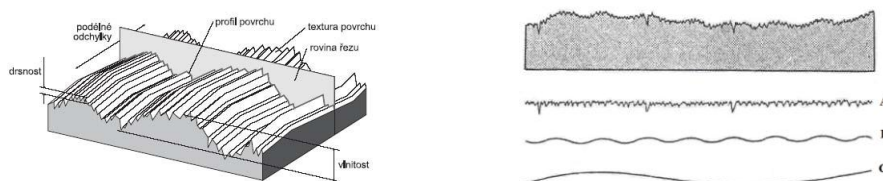
Obr.2.12.: Porovnání rozložení zinku při žárovém a elektrolytickém pokovování



Obr.2.13.: Podélný řez elektrolyticky pozinkovaného povrchu vlevo a žárově vpravo, zvětšeno 1000x [9]

2.6 Povrchy povlaků [23, 24, 25, 26]

Procesy tření a opotřebení při tažení probíhají ve vrstvách, které vytvářejí povrch dotýkajících se těles. Na mikrogeometrii povrchu jsou kladeny vysoké požadavky, neboť ovlivňuje proces tažení a musí vyhovovat i estetickým vlastnostem po nanesení laku na tyto tažené díly. Souhrn vlastností geometrie povrchu vyjadřuje kvalitu povrchu. Kvalita reálného povrchu je obvykle složena z kombinací mikroskopické drsnosti, vlnitosti povrchu a odchylek tvaru. Na obr.2.14 Je schematicky zobrazen povrch ve 2D a 3D.



Obr.2.14.: Schéma struktury povrchu ve 2D a 3D
A - mikroskopická drsnost, B – vlnitost, C – odchylky tvaru [26]

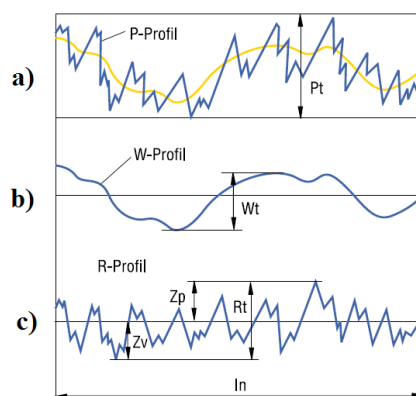
2.6.1 Hodnocení geometrie povrchu ve 2D [27]

Drsnost povrchu je popisována a posuzována normou DIN EN ISO 4287. Norma popisuje řadu parametrů, které lze získat drsnoměrem, některé jsou popsány níže:

1) Profil povrchu – celková výška profilu

Pohyb snímače drsnoměru získá 2D profil, který je obrazem povrchu součásti. Schematicky naměřené veličiny jsou vidět na obr.2.15. kde

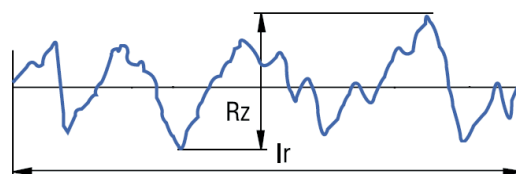
- a) **P_t** – **Hloubka profilu** nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami
- b) **W_t** – **Hloubka vln** vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti
- c) **R_t** – **Největší hloubka drsnosti** vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti.



Obr.2.15.: Schéma profilu povrchu

2) Maximální výška profilu

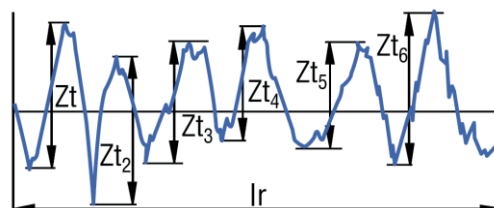
Součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší rýhy uvnitř základní délky l_r , je maximální výška profilu R_z viz obr.2.16..



Obr.2.16.: Maximální výška profilu

3) Průměrná výška elementů profilu

Průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky l_r viz obr.2.17., označení průměrné výšky elementů je R_c . Vztah pro výpočet průměrné výšky elementů je:



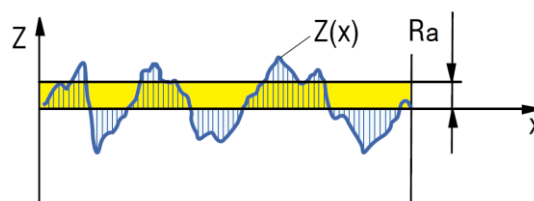
Obr.2.17.: Průměrná výška elementů profilu

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_t \quad (1)$$

4) Střední aritmetická hodnota drsnosti

K posouzení struktury povrchu se v ČR přednostně používá průměrná aritmetická odchylka filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r , označení je R_a , schematicky zobrazeno na obr.2.18..

Vztah pro střední aritmetickou drsnost je:

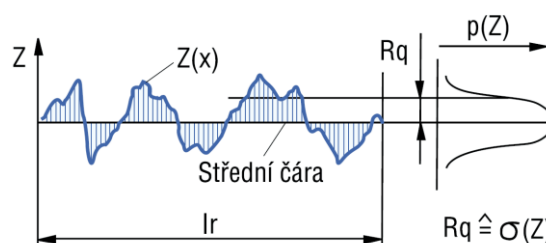


Obr.2.18.: Schéma popisující posouzení střední aritmetické odchylky

$$R_a = \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (2)$$

5) Střední kvadratická hodnota drsnosti

Střední kvadratická hodnota drsnosti R_q uvnitř základní délky l_r má význam při statistickém pozorování profilu povrchu. Schéma střední kvadratické hodnoty drsnosti R_q je na obr.2.19.. Vztah pro střední kvadratickou hodnotu drsnosti je:

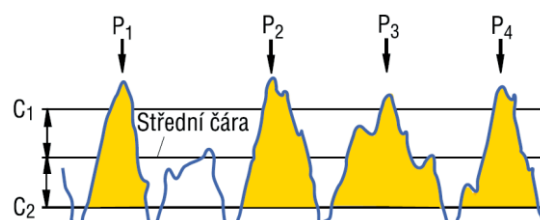


Obr.2.19.: Schéma střední kvadratické hodnoty drsnosti

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^2(x) dx} \quad (3)$$

8) Počet výstupků - podle STAHL-EISEN-zkušebního listu (SEP 1940)

Pro vyhodnocení se požaduje zadání hladin řezu viz obr.2.20. hladiny řezu C1, C2 . Vyhodnocuje se počet výstupků P na 10mm dle vztahu 4.

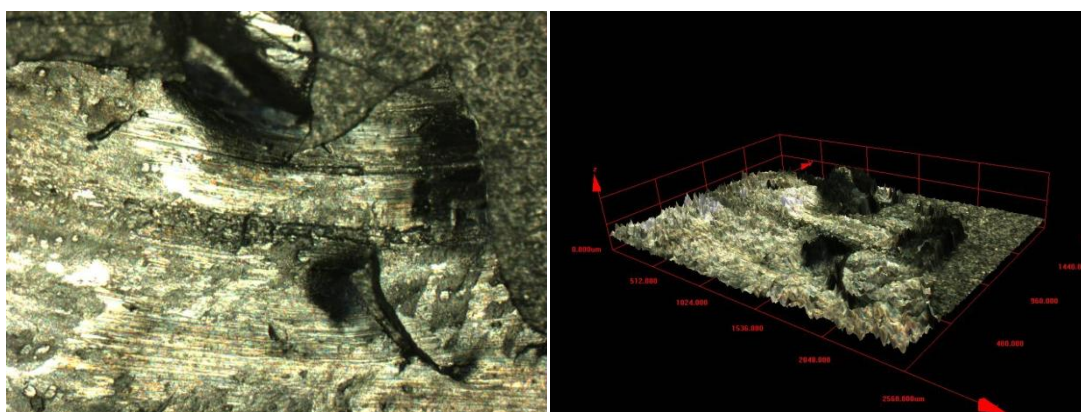


Obr.2.20.: Schéma počtu výstupků podle STAHL-EISEN-zkušebního listu (SEP 1940)

$$RP_c = \frac{\text{počet špiček}}{10\text{mm vztažné délky}} \quad (4)$$

2.6.2 Hodnocení geometrie povrchu ve 3D [25]

V současnosti je hodnocení geometrie a drsnosti povrchu ve 2D již nedostačující, neboť nelze zjistit velikosti styčných ploch, jejich změny při zatěžování, vliv technologických parametrů atd.. Charakteristika povrchu ve 3D otevírá nové možnosti pro komplexní hodnocení struktury povrchu. Popis struktury zvyšuje objektivitu hodnocení povrchu a umožňuje i předpoklady vlastností povrchu. Pro příklad je na obr.2.21. zobrazen povrch po tribologické zkoušce s elektrolyticky naneseným povlakem zinku v 2D a 3D.

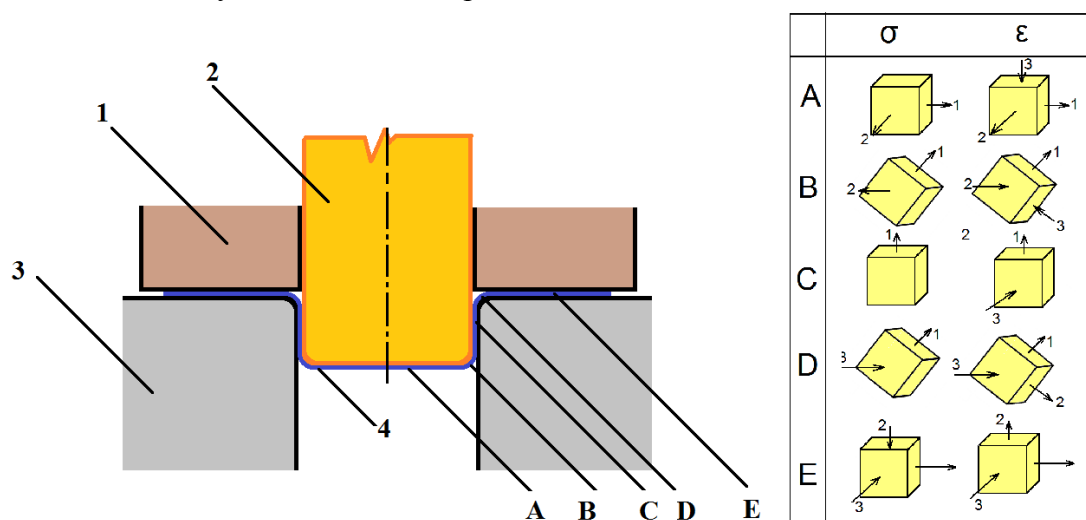


Obr.2.21.: Ukázka povrchu v 2D a 3D zobrazení

2.7 Výroba dílů karoserie - technologie tažení [3, 28, 29, 30]

Tažení je technologická operace plošného tváření. Tažením plechů se vyhotovují z rovinných přístřihů prostorové výlisky nerozvinutelných tvarů. Principem tažení je zatlačování tažníku do tažnice za současného posouvání plechu přes tažnou hranu. Podle charakteru výlisku se proces tažení dělí na *mělké* a *hluboké*.

Při hlubokém tažení se projevují rovinné stavy napjatosti a deformace. Napjatost při tažení je v jednotlivých místech výtažku různá, to je schematicky ukázáno na obr.2.22.. Dno (A) se nepatrně vytahuje do dvou směrů. Válcová část (C) se natahuje v jednom směru, kdežto u dna (B) je dvouosá nebo trojosá napjatost. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (D) je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Pokud je nástroj bez přidržovače odpadá tlak pod přidržovačem. V místě ohybu u dna výtažku jsou nejnevhodnější podmínky, je zde vysoké tahové napětí, které má za důsledek zeslabování stěny a hrozí zde nebezpečí utržení dna.



(1) přidržovač, (2) tažník, (3) tažnice, (4) výtažek (výlisek)

Obr.2.22.: Schéma napjetí (σ) a deformací (ϵ) při tažení válcových výtažků s přidržovačem

2.7.1 Vliv technologických parametrů na proces hlubokého tažení

Pokud se chce docílit úspěšného výtažku, musí se mimo vlivu taženého materiálu brát v úvahu také vliv konkrétních podmínek tažení. Podle doposud získaných poznatků ovlivňují vlastnosti tažení tyto faktory:

- přidržovací tlak
- rychlost tažení
- mazání

Vliv přidržovacího tlaku

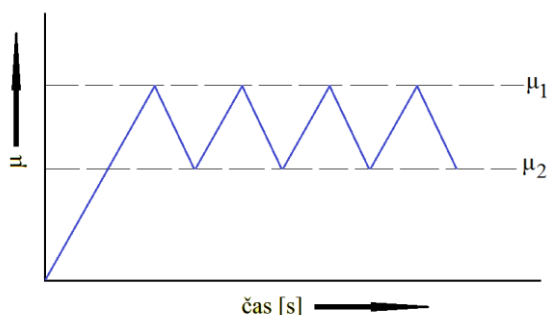
Tento tlak vyvolává přidržovač, který při tažení zabraňuje tvorbě vln v oblastech krajů a přírub. Aby plnil přidržovač svou funkci správně, musí vyvinout takový tlak, který zamezí zvlnění příruby. Tlak však nesmí být natolik velký, aby nedošlo ke zvýšení třecích sil, které by porušily kvalitu výtažku. U složitých výtažků je problém určit správný přidržovací tlak, protože jsou rozdílné síly v rohách a rovných částech výtažku.

Vliv rychlosti tažení

Rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry, proto může rychlost tažení ovlivňovat stupeň tažení. Tato závislost je tím větší, čím větší podíl z celkové tažné síly náleží třecím silám. Problematika je stále zkoumána na mnoha vědeckých pracovištích.

Při nízkých rychlostech tažení (1-5mm/s) se objevuje nežádoucí jev zvaný STICK-SLIP (trhavý smyk). Stick-slip jevy se pozorují u tažení s velice nízkými tvářecími rychlostmi, když se při pohybu stykových povrchů střídá skluz se stavem zadírání, a následek se projevuje v trvalých časových změnách součinitele tření. Na obr.2.23. je vidět střídání skluzu se zadíráním. Celý jev se opakuje velmi rychle, a proto výsledkem je trhavý pohyb třecího tělesa doprovázený nepříjemnými „vrzajícími“ zvuky.

Právě plechy se zinkovým povlakem jsou k tomuto jevu náchylné.



Obr.2.23.: Příklad průběhů sil se stick-slip efektem při tribologické zkoušce

Vliv mazání

Obecně při tažení vzniká tření, které zvyšuje tažnou sílu až o 30%. Má však za následek opotřebení nástroje. Pro snížení tření se používají maziva, která snižují nežádoucí tření při tažení.

Velikost tření je především ovlivněna tribologickými podmínkami, které jsou popsány v následující kapitole.

2.8 Tribologie [23, 24, 25, 31, 32]

Tribologie je samostatná vědní disciplína, zabývající se vzájemným působením povrchů při jejich relativním pohybu. Název *tribologie* je odvozen z řeckého slova *tribos* což znamená třít. Problémy tření, mazání a opotřebení, čili tribologii, se spojují se samotnou existencí lidstva. Vliv tření asi před 500 000 lety přineslo člověku oheň a jsou známy i skutečnosti např. z egyptských nástěnných maleb, že přívodem kapaliny mezi dvě třecí plochy se tření sníží.

Pro správné určení mazacích médií a správné navržení materiálu pro technologii lisování karosářského výlisku, je nutné znát procesy tření, opotřebení a mazací schopnosti, ale dále je potřeba mít znalosti a provázat je s jinými vědními obory, jako jsou např. chemie, fyzika, konstrukční technika, materiálová technika a měřicí technika.

2.8.1 Tření [23, 25]

Tření nastává ve stykových místech dvou materiálů, kde se projevuje ztrátou mechanické energie, tj. vznikem síly působící proti pohybu. Velikost tření závisí na druhu materiálu, na tlaku vyvolaného tělesem na povrch a v neposlední řadě na médiu, které může být mezi tělesy.

2.8.1.1 Tření za sucha

Tření za sucha probíhá bez přítomnosti mazacího média. Tření vzniká jen na nejvyšších nerovnostech povrchu, tyto výstupky se zahřívají vzniklým teplem, zadírají se a v krajních případech může dojít až ke svaření povrchu substrátu a nástroje. Suché tření má nepříznivý vliv na velikost třecích odporů, opotřebení, a teploty, proto se ho výrobci snaží eliminovat při lisování karosářského výtažků.

2.8.1.2 Kapalinné, mezní a smíšené tření

V důsledku mazání třecích ploch mohou nastat tři druhy tření, kapalinné, mezní a smíšené. O tření s použitím maziv se hovoří tehdy, pokud se přivede mezi stykové plochy těles látka, která nepřipustí suché tření (bezprostřední styk). Proces, při kterém se prostřednictvím maziva snižuje tření a opotřebení povrchů se nazývá mazáním.

Kapalinné tření

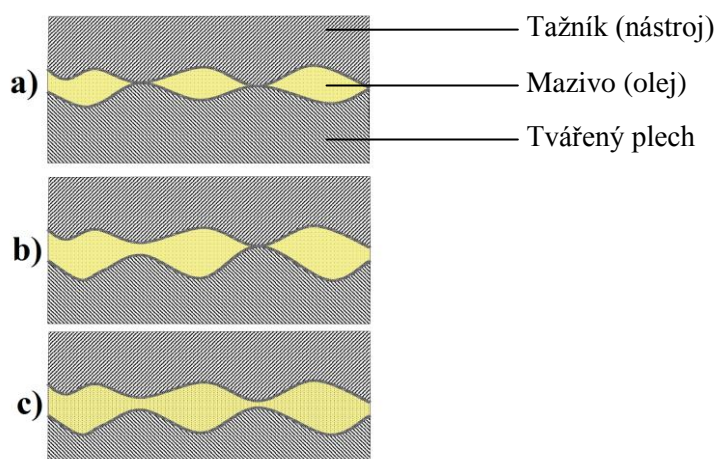
Kapalinné tření vzniká, pokud povrchy těles pohybujících se po sobě jsou od sebe dokonale odděleny vrstvou mazacího filmu. Mazací film vyrovnává drsnost povrchu a hydrodynamickým nebo hydrostatickým tlakem vyruší účinek zatížení na povrchy těles. Tření tedy probíhá v mazací vrstvě a jeho síla je závislá pouze na vnitřním tření v mazivu. Pro udržení kapalinného tření mezi tělesy musí být přítomno v kluzném prostoru určité množství maziva. Schematicky zobrazeno na obr.2.24..

Mezné tření

Mezné tření vzniká tehdy, pokud nedojde k vytvoření kapalinné vrstvy. Dochází k přiblížení povrchů, kdy jejich vzájemnému styku brání pouze mezná vrstva maziva. Mezná vrstva maziva má tloušťku jen několika molekul a její vznik je podmíněn fyzikálními či chemickými reakcemi maziva s třecími povrchy. Velikost třecí síly je již závislá na druhu třecích povrchů a drsnosti a nejen na vlastnostech maziva jako tomu bylo u kapalinného tření. Mezné tření snižuje až 5x opotřebení ve srovnání s třením suchým. Schematicky zobrazeno na obr.2.24..

Smíšené tření

Smíšeným třením se nazývá přechod mezi třením mezným a kapalným. Ke smíšenému tření dochází, pokud tloušťka maziva mezi povrchy je větší než tloušťka několika molekul mezného mazání, ale menší než tloušťka, která již zajišťuje kapalinné tření. K tomuto tření dochází zejména při malých rychlostech třecích povrchů, velkém zatížení nebo při změnách směru pohybu. Smíšené tření je nejčastější formou při výrobě karosářských výlisků, přičemž poměr mezného a kapalinného tření ovlivňuje konečnou kvalitu zhotoveného dílu. Schematicky zobrazeno na obr.2.24..



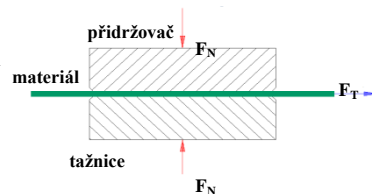
Obr.2.24.: Schematické znázornění tři druhy tření s mazivy,
(a) mezné tření, (b) smíšené tření, (c) kapalinné tření

2.8.2 Modelování tření při tažení [9]

Pro hodnocení tribologických vlastností testovaných substrátů a mazadel byla vyvinuta celá řada laboratorních zkoušek. Každá zkouška má dané hodnotící kritérium, a poté porovnává dílčí výsledky zkoušek pro dané kombinace *testovaný substrát-testované mazivo-nástroj-technologické podmínky*. Přehledy používaných testů pro hodnocení tribologických vlastností jsou uvedeny v dalších kapitolách.

Modelování tření mezi přidržovačem a tažnicí

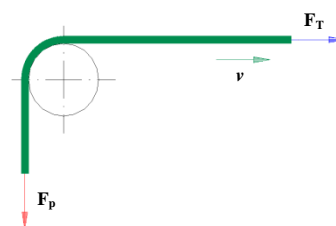
- výhoda: snadné nastavení podmínek testu, a snadné měření třecí síly
- nevýhoda: napjatost testovaného substrátu neodpovídá skutečné napjatosti materiálu pod přidržovačem
- koeficient tření se vypočte z hodnot normálové síly F_N a tažné síly F_T



Obr.2.25.: Modelování tření mezi přidržovačem a tažnicí

Modelování tření na tažné hraně

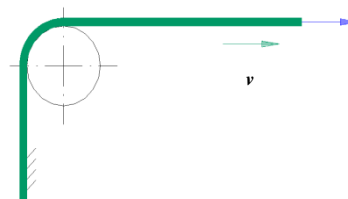
- výhoda: snadné nastavení rychlosti protahování testovaného substrátu
- nevýhoda: špatná kontrola kontaktního tlaku mezi vzorkem a tažnou hranou
- koeficient tření se vypočte ze sil potřebných pro ohyb a na rovnání pásu na tažné hraně



Obr.2.26.: Modelování tření na tažné hraně

Modelování vypínání přes tažnou hranu

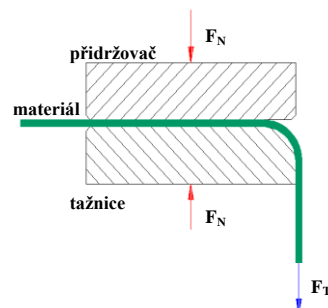
- rozdíl od předešlé metody je, že na jedné straně je vzorek pevně uchycen a druhá strana se pohybuje
- nevýhoda: obtížné nastavení kontaktního tlaku a kluzné rychlosti na tažné hraně
- vyhodnocením zkoušky je F_T potřebná pro vytvoření předem zvolené deformace



Obr.2.27.: Modelování vypínání přes tažnou hranu

Modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou

- kombinace předchozích metod
- koeficient tření se určuje tažné síly F_T



Obr.2.28.: Modelování tření mezi přidržovačem, tažnicí a tažnou hranou

Pomocí předešlých metod byla provedena spousta zkoušek, avšak stále nejsou kompletní informace pro všechny typy substrátů používaných v automobilovém průmyslu. Zjišťování tribologických vlastností za požadovaných podmínek (podmínky, při kterých v praxi dochází k zadírání výtažků) bylo hlavním faktorem při vzniku této bakalářské práce. Vlivem zadírání plechů je možný výskyt opotřebení nástrojů.

2.8.3 Opotřebení [31]

Opotřebení je degradační změna vedoucí k úbytku částic z funkčních povrchů. Ovlivňuje jakost karosářských výlisků a má vliv na poškození nástrojů. Pro odstranění následků opotřebení se zjišťují druhy opotřebení a jejich příčiny, tyto informace lze dohledat v pramenech [23][25].

Pro snížení opotřebení a tření třecích povrchů se využívá mazání. Zejména při tažení složitých karosářských výlisků mají maziva nenahraditelnou úlohu.

2.8.4 Mazání při tažení [24]

Aby nedocházelo ke kovovému styku mezi výliskem a nástrojem, používají se při tažení maziva. Mazivo chrání opotřebení nástroje a výtažku. Maziva dovolují použití vyšších stupňů tažení a zároveň snižují součinitel smykového tření a sílu potřebnou k tažení. Množství a způsob nanášení maziva je značně individuální, obvykle se přístřih maže na problematických místech - nepravidelné záhyby, místa s napjatostí tah-tah, nerovnoměrné hloubky tažení.

2.8.5 Druhy maziv používaných při tažení [29]

Základním mazivem používaným při tažení karosářského výlisku jsou oleje. Používají se čisté ropné cyklické oleje s vysokotlakými přísadami, například s chlorovaným tuhým parafinem nebo s přísadou tuhého maziva například (křída, talku), nebo rostlinné, živočišné oleje a tuky, vodné roztoky sodných nebo draselných mýdel i suchá prášková mýdla. Při hlubokém tažení nebo při tažení legovaných plechů s vysokou pevností a malou tažností se používají samotná tuhá maziva např. grafit.

2.8.5.1 Požadavky na maziva

Maziva používaná pro hluboké tažení musí splňovat mnoho požadavků:

- výbornou smáčivost s použitými materiály
- dostatečná mazací schopnost
- nesmí chemicky poškozovat materiály
- musí mít určitou mechanickou únosnost
- chemicky stálé
- vytvořit pevný souvislý film
- snadné nanesení a odstranění
- ekonomicky dostupné
- šetrnost k životnímu prostředí

2.8.5.2 Rozdělení maziv

Existují různé typy maziv, které chrání plech při výrobě, skladování, expedici a další typy maziv, které usnadňují zpracování plechu.

Rozdělení maziv:

- a) **Technologická maziva**, která jsou nanášena přímo před tažením na již vytvořený přístřih.
- b) **Konzervační maziva** - nazývaná **PRELUBE** jsou nanášena na plech u výrobce. Maziva mají dvojí funkci: primární funkce je konzervační schopnost a sekundární funkce je schopnost mazací – při samotném tažení.
- c) **Prací oleje**, nanášejí se před zpracováním přístřihů, u kterých je požadována vysoká jakost povrchu.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Při lisování karosářských výlisků ve Škoda Auto, a. s. byl řešen problém se zadíráním elektrolyticky pozinkovaných plechů. To také vedlo ke vzniku této bakalářské práce, která má objasnit vliv povrchu materiálu na tribologické vlastnosti. Hlavním cílem bakalářské práce je provést měření pomocí laboratorních zkoušek modelující proces tažení a popsat tribologické podmínky při tažení plechů s elektrolytickým povlakem zinku od třech různých dodavatelů. Vzorky dodané na tribologické testy nebyly z běžné sériové dodávky, ale sloužily pouze pro vypracování bakalářské práce. Experimentální výsledky napodobují skutečné podmínky během tažení karosářských výlisků. Z testů jsou vyhodnocovány a zjišťovány koeficienty tření. Ty jsou stanoveny jako hlavní kritérium při posuzování vlivu zadaných technologických podmínek (rychlost posuvu, kontaktní tlak, teplota). Na základě změřených výsledků objasnit vliv struktury zinku testovaných materiálů na následnou zpracovatelnost při tažení.

Cíle bakalářské práce:

- analyzovat povrchy testovaných plechů – stavba krystalů
- naměřit síly potřebné pro tažení pozinkovaných plechů
- zjistit koeficienty tření při tažení testovaných plechů
- zjistit vliv typu použitého maziva při tažení
- vyhodnotit projevy zadírání a posoudit vliv struktury při tažení elektrolyticky pozinkovaných plechů
- doplňující údaje – materiálové charakteristiky testovaných plechů

3.1 Testované substráty

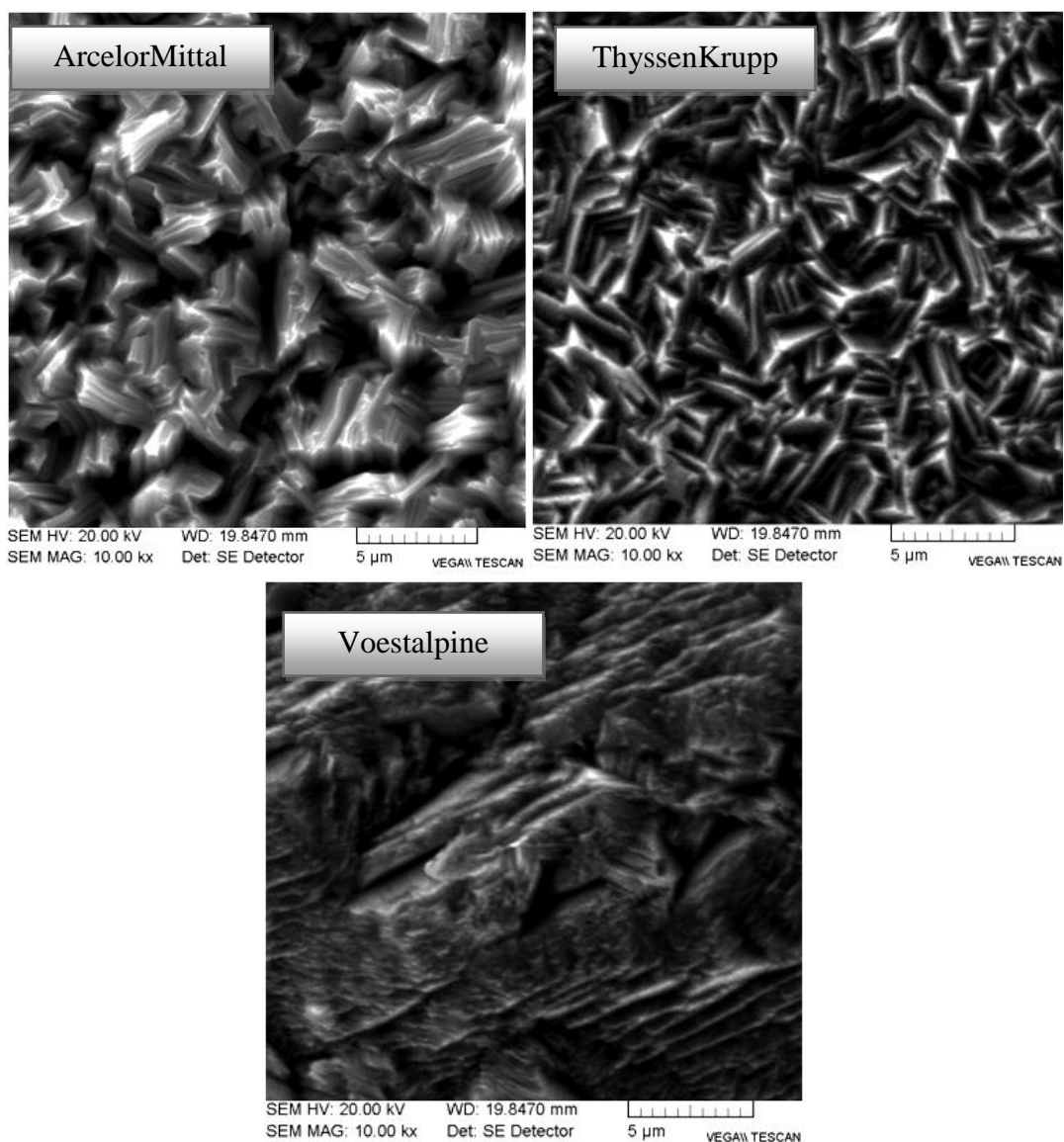
V kapitole 2.4.2 bylo uvedeno, že podmínky při elektrolytické krystalizaci zinku nejsou vždy stejné. Výrobci zhotovují stejné typy plechů, které odpovídají normám zpracovatelů plechů, ale přesto každý výrobce zhotovuje s ohledem na své výrobní postupy jiné typy struktur, byť se jedná o stejný druh povlaku tj. EG.

Ve Škoda Auto se při tažení karosářských výlisků, s elektrolyticky vyloučeným povlakem zinku, objevovaly vady způsobené otěrem zinku. Vady se objevovaly náhodně a nešlo tedy s přesností určit, který materiál je vhodnější pro tažení. Byly tedy objednány vzorky, tří různých dodavatelů, hlubokotažných ocelových materiálů pro zjišťování tribologických vlastností plechů s elektrolyticky vyloučeným povlakem zinku.

V bakalářské práci byly také provedeny zkoušky zjišťování mechanických vlastností substrátů a geometrických parametrů povrchu, výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Dalším důležitým bodem bylo analyzovat rozdíly ve stavbě krystalů vzorků dodaných na testy tribologie od dodavatelů ArcelorMittal, ThyssenKrupp a Voestalpine (dále jen Arcelor, TKS, Voest) viz obr. 3.1..

Tabulka 1.: Testované materiály a jejich vlastnosti

Výrobce plechu	ArcelorMittal	ThyssenKrupp	Voestalpine Stahl
Povrch	EG - Zn	EG - Zn	EG - Zn
Tloušťka	0,9mm	0,9mm	0,9mm
Označení	DC05 ZE 75/75	DC04 ZE 50/50	DC06B ZE 75/75 BO
R _a	1,44/1,55μm	1,24/1,2μm	1,69/1,70μm
RP _c	58/62 cm ⁻¹	57/61 cm ⁻¹	71/72 cm ⁻¹
R _m	300MPa	299MPa	294MPa
R _{p0,2}	163MPa	166MPa	158MPa
A _{80mm}	44%	43%	46%



Obr.3.1.: Snímky stavby krystalů z elektronového mikroskopu Tescan Vega XMU

3.1.1 Hodnocení stavby krystalů testovaných substrátů

Mikrostruktura EG povlaku zinku od výrobce *ArcelorMittal* je hrubozrnnějšího charakteru s vykrytalizovanými lamelami zinku, které společně tvoří hrubozrnné krystaly. Naměřené hodnoty geometrie povrchu jsou $Ra=144/1,55\mu\text{m}$; $RPc=58/62\text{ cm}^{-1}$.

Mikrostruktura povlaku zinku od dodavatele *ThyssenKrupp* je velice jemnozrnná, což odpovídá naměřeným geometrickým hodnotám povrchu, jejichž hodnoty jsou $Ra=1,24/1,2\mu\text{m}$; $RPc=57/61\text{ cm}^{-1}$. Jemnozrnné lamelky zinku jsou náhodně uspořádány vedle sebe kolmo k základnímu substrátu, což má za následek vyšší počet ostřejších výčnělků (píků).

Mikrostruktura EG povlaku zinku u výrobce *Voestalpine* je nejhrubozrnnější z testovaných substrátů, na snímku jsou vidět velké lamely zinku uspořádané na sobě rovnoběžně se základním substrátem, které na povrchu tvoří plošky. Hrubozrnný povrch má za následek nejvyšší aritmetickou drsnost $Ra=1,69/1,70\mu\text{m}$ z těchto tří substrátů. Naměřený počet výstupků u substrátu Voestalpine je $RPc=71/72\text{ cm}^{-1}$.

Snímky pro hodnocení povrchů substrátů byly pořízeny ze dvou využitých mikroskopů:

- **Elektronový mikroskop** pro snímky stavby krystalů viz obr.3.1.
- **Optický mikroskop** pro snímky substrátů po tribologické zkoušce. Snímky z optického mikroskopu jsou součástí vyhodnocených výsledků v kapitolách 4.1.1; 4.2.1; 4.3.1.

Snímky stavby krystalů

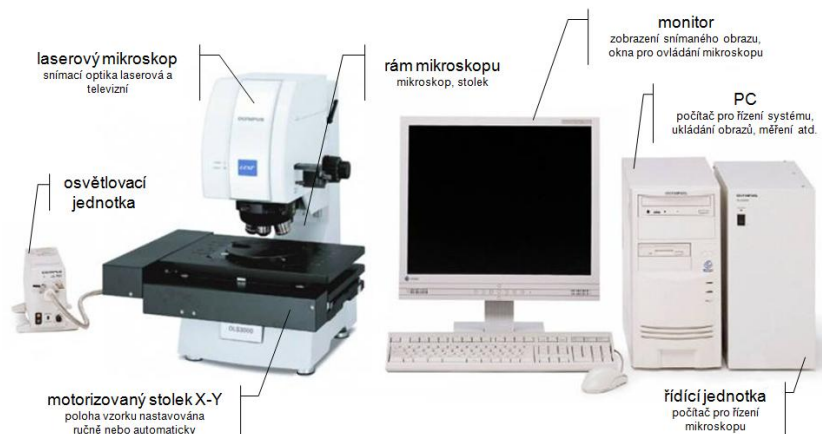
Snímky stavby krystalů byly nafoceny v laboratoři elektronové mikroskopie, v Mladé Boleslavi pracoviště Na Karmeli, viz obr.3.2.. Laboratoř je vybavena rastrovacím elektronovým mikroskopem Tescan Vega XMU, který umožňuje zvětšení 40 – 200 000x.



Obr.3.2.: Laboratoř elektronové mikroskopie v Mladé Boleslavi pracoviště Na Karmeli

Mikroskopické snímky povrchů

Pozorování povrchu se uskutečnilo na mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000 viz obr.3.3.. Jedná se o typ rastrovacího konfokálního laserového mikroskopu s vysokým rozlišením, 0,12 μm .



Obr.3.3.: Zařízení s mikroskopem Olympus LEXT OLS 3000

Mikroskop Olympus LEXT umožňuje pozorování ve dvou režimech:

- světelný se zvětšením až 2 400x,
- konfokální se zvětšením až 14 400x.

Součástí Mikroskopu Olympus LEXT je software pro vyhodnocení obrazu, který má funkci obrazové analýzy pro 2D snímky, v reálných barvách, a také dokáže provádět stereometrická měření na 3D snímcích povrchu, pouze v odstínech šedé. V tabulce 2 jsou uvedeny technické parametry mikroskopu.

Tabulka 2.: Technické parametry mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000

Technické parametry mikroskopu Olympus LEXT OLS 3000	
Optický mikroskop	zvětšení - 120x až 2400x
Konfokální rastrovací laserový mikroskop	zvětšení a 14400x
	2D zobrazení
	3D zobrazení
Rozlišení	120nm
Rozměry	464x559x614mm
Motorizovaný stolek	zdvih (XY) - 150x100mm
	zdvih v ose Z - 70mm
Světelný zdroj	polovodičový laser ($\lambda = 408 \text{ nm}$)
Výstupní obrazové formáty	.jpg, .bmp, .tiff
Výstupní datové formáty	.ols, .xls, .csv

Analýza stavby krystalů, provedená na mikroskopu Tescan Vega, a snímky povrchů po tribologické zkoušce, z mikroskopu Olympus LEXT, jednotlivých substrátů jsou následovány měřením geometrických vlastností povrchů (metodou hodnocení povrchu ve 2D) a mechanickými vlastnostmi – zkouškou tahem.

3.1.2 Měření geometrie povrchu testovaných substrátů [27]

Geometrie povrchu testovaných materiálů byla měřena na Katedře strojírenské technologie přenosným přístrojem MAHR Marsurf PS1 viz obr.3.4.. Měřicí podmínky vycházejí z norem DIN EN ISO 4288:1998 a DIN EN ISO 3274:1998.



Obr.3.4.: Přenosný drsnoměr MAHR Marsurf PS1

Geometrie povrchu tří testovaných substrátů byla zjišťována pro obě strany pásu (výsledky viz tabulka 5), ve směru válcování a kolmo na směr válcování. Měření bylo provedeno vždy v deseti náhodně vybraných místech, a ze získaných hodnot se vypočetl aritmetický průměr. Geometrie povrchu byla posuzována dle dvou parametrů:

- R_a – střední aritmetická hodnota drsnosti (viz kapitola 2.6.1)
- R_{Pc} – počet výstupků (viz kapitola 2.6.1)

3.1.3 Materiálové charakteristiky testovaných substrátů

Materiálové charakteristiky testovaných plechů byly stanoveny zkouškou tahem v souladu s normou EN – ISO 6892-1 (norma obsahuje tvary, rozměry tyčí a metodiku provedení zkoušky). Zkušební tyče byly odebrány ve třech směrech 0° , 45° , 90° vůči směru válcování.

Zkouška tahem proběhla v laboratořích Katedry strojírenské technologie na stroji TiraTest 2300 s použitím programu Labtest 4.01, který vyhodnotil základní mechanické hodnoty testovaných substrátů ($R_{p0,2}$, R_m , A_{80mm}).

Naměřené hodnoty byly zjištěny výše popsáním způsobem a pro jednotlivé substráty se aritmetickým průměrem vypočetly výsledné již zmíněné (tabulka 1) mechanické hodnoty.

3.2 Maziva použita při experimentu

Při experimentálním zjišťování tribologických vlastností požadovaných plechů s elektrolyticky vyloučeným povlakem zinku byla použita dvě maziva:

- a) **ANTICORIT PL 3802-39 S** (dále jen ACPL 3802-39S) – výrobce FUCHS EUROPE SCHMIERSTOFFE GMBH. Je to ochranný antikorozi a tvářecí olej typu PRELUBE. Tento olej je vhodný pro plechy právě s elektrolyticky vytvořeným povlakem zinku. Stručná charakteristika vlastností oleje je uvedena v tabulce 3.
- b) **MULTIDRAW PL 61** (dále jen PL 61) – výrobce Zeller+Gmelin s.r.o. Olej typu PRELUBE ochrání proti korozi a konzervuje při skladování a dopravě. V lisovnách se používá k dodatečnému olejování krytických míst pro tah. Stručná charakteristika vlastností oleje je uvedena v tabulce 3.

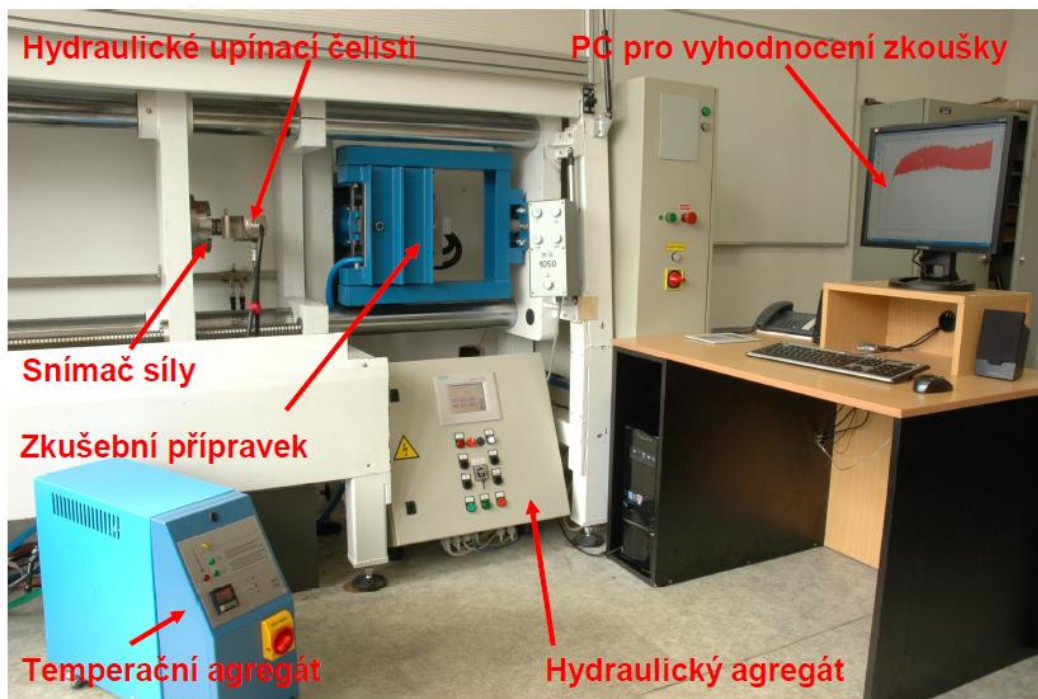
Tabulka 3.: Vlastnosti použitých maziv

Olej	ACPL 3802-39 S	MULTIDRAW PL 61
Viskozita při 40°C [mm ² /s]	60	58
Hustota při 15°C [kg/m ³]	915	890
Bod vzplanutí [°C]	196	180

Podrobné vlastnosti olejů jsou uvedeny příloze P1 a P2.

3.3 Tribologické zařízení SOKOL 400

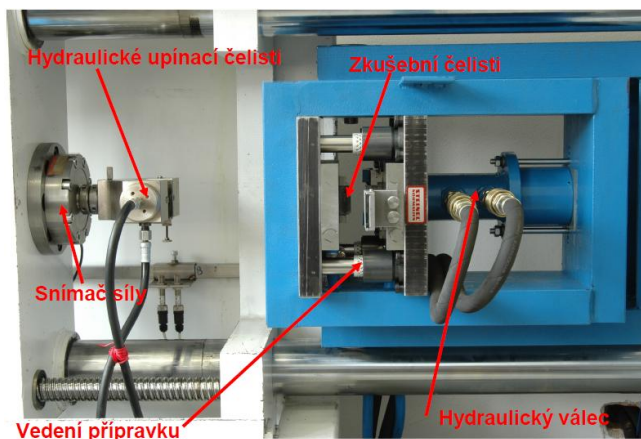
Pro hodnocení tribologických vlastností materiálů a mazadel za laboratorních podmínek je laboratoř Katedry strojírenské technologie vybavena zkušebním zařízením s názvem SOKOL 400. Tribologické pracoviště je znázorněno na obr.3.5..



Obr.3.5.: Zařízení pro experimentální měření

3.3.1 Popis zkušebního zařízení

Základem funkční části stroje jsou zkušební čelisti (viz obr.3.6). Teplota čelistí je udržována pomocí temperačního agregátu. Čelisti jsou ovládány hydraulickým válečkem připojeným na hydraulický agregát, čímž je automaticky vyvozen tlak dle nastavené hodnoty. Technické parametry zařízení jsou v tabulce 4.



Obr.3.6.: Přípravek zkušebního zařízení

Tabulka 4.: Technické parametry zařízení SOKOL 400

Technické parametry zařízení SOKOL 400	
Rychlost posuvu	$v = 1 - 400 \text{ mm/s}$
Maximální síla	$F_T = 20 \text{ kN}$
Maximální kontaktní tlak	$p = 80 \text{ MPa}$
Teplota	$T = 5 - 98^\circ\text{C}$
Kontaktní plocha	$S = 400 \text{ mm}^2 (20 \times 20)$
Frekvence snímání dat	$f = 10 \text{ kHz}$
Maximální měřená délka	$l = 1200 \text{ mm}$

3.3.2 Čelisti použité při tribologické zkoušce

Při tribologickém testu byly použity zkušební čelisti z tvárné litiny GGG70L (značení v koncernu Volkswagen dle normy DIN 1693) bez tepelného zpracování. Hodnoty tvrdosti, drsnosti a chemického složení čelistí:

Tvrđost: 210-220 HB 2,5/62,5 (252-260HV 30, 18HRC)

Drsnost: $R_a = 0,08 \mu\text{m}$, $R_z = 0,72 \mu\text{m}$

Chemické složení: C = 3,2-3,4%, Mn = 0,3-0,8%, Si = 1,8-2,4%, P ≤ 0,05%, S ≤ 0,01%, Cu ≈ 1%, Ni ≈ 1%, Mo ≈ 0,5%

Kontaktní plocha: $S = 400 \text{ mm}^2 (20 \times 20)$

3.4 Příprava vzorků na tribologickou zkoušku

Nastříhání a označení vzorků

Příprava vzorků na tribologickou zkoušku byla provedena dle metodiky [33] prováděné na TU v Liberci a podle kritérií Škoda Auto, a.s.

Na vzorky před stříháním byly napsány značky, označující výrobce substrátu. Vzorky (pásky) se z tabulí plechu na požadovaný rozměr (viz tabulka 5) stříhaly kolmo na směr válcování na tabulových nůžkách.

Tabulka 5.: Rozměry a počty vzorků potřebných k měření

Testovaný materiál	Počet pásků	Šířka pásku [mm]	Délka pásku [mm]
ArcelorMittal - EG	20	44	850
ThyssenKrupp - EG	20	44	850
Voestalpine - EG	20	44	850

Odmaštění vzorků

Při skladování svitků a tabulí plechu se k ošetření používají konzervační oleje. Před zkouškou je tedy nutné nastříhané a označené vzorky odmastit. Odmašťování se provádí ve dvou fázích, první odmaštění zejména mechanických nečistot se provádělo bavlněnou tkaninou napuštěnou odmašťovacím prostředkem **D-sol 100**, v druhé fázi se pásky plechu ponořily do lázně také s odmašťovacím prostředkem D-sol 100. Pro důkladné oschnutí a vypřechání odmašťovadla se vzorky vložily do sušícího zařízení s cirkulací vzduchu.

Materiálový list odmašťovacího prostředku **D-sol 100** je přiložen v příloze P3.

Nanesení požadovaného maziva

Na takto odmaštěné pásky se po obou stranách vzorků nanášelo požadované množství maziva, s ohledem na praktické podmínky při lisování v množství $1,5 \pm 0,2 \text{ gm}^{-2}$. Mazivo bylo nanášeno bavlněnou tkaninou napuštěnou olejem. Pro zajištění a kontrolu množství naneseného maziva se používalo speciální zařízení, které je popsáno v následující kapitole. Pro kontrolu bylo na každém vzorku měřeno množství maziva na třech náhodně zvolených místech. Po nanesení a kontrole množství maziva se vzorky vkládaly do upínacího přípravku, tak aby značení na straně vzorku směřovalo vždy stejným směrem a tím byla zajištěna stejná korektnost testu.

3.4.1 Zařízení na měření množství maziva

K jednoduchému zjišťování tloušťky vrstvy oleje na kovovém povrchu slouží přenosné zařízení od firmy FUCHS EUROPE SCHMIERSTOFFE GMBH (viz obr. 3.7.). Konstrukce měřicího aparátu umožňuje infračerveným paprskem snímat povrch plechu o rozměrech 10x10mm a zaznamenávat množství maziva naneseného na kontrolované ploše. Z jednotlivých měření je pak vypočtena průměrná hodnota měřené vrstvy maziva, která se zobrazí na LCD displeji.

Kalibrace je přednastavená na několik druhů kovových povlaků např. na ocelové plechy válcované za studena, na plechy s povlaky žárově zinkovanými (HDG), elektrolyticky zinkovanými (EG). Další povrchy mohou být dle požadavků přidány. Zařízení je schopno měřit vrstvy maziv v rozsahu hodnot 0,2 až 6gm^{-2} .



Obr.3.7.: Měřicí zařízení od firmy FUCHS EUROPE SCHMIERSTOFFE GMBH

3.5 Experimentální měření koeficientu tření

Před začátkem vlastního měření a zaznamenávání sil, bylo třeba udělat řadu přípravných kroků.

Čelisti stroje SOKOL 400, na kterém se testovalo, byly vyleštěny a ošetřeny testovacím olejem. Dalším krokem bylo zapnutí temperančního systému, který zajišťoval ohřev čelistí na požadovanou teplotu 60°C . Měření se provádělo pro dva oleje a oba byly nanесeny v množství $1,5 \pm 0,2\text{gm}^{-2}$. Testovaly se tři substráty EG při jedné rychlosti protahování 1mm/s. Kontaktní tlak byl nastaven na diskretní nárůst tlaku v hodnotách dle tabulky 6.

Tabulka 6.: Zadané podmínky tribologického testu

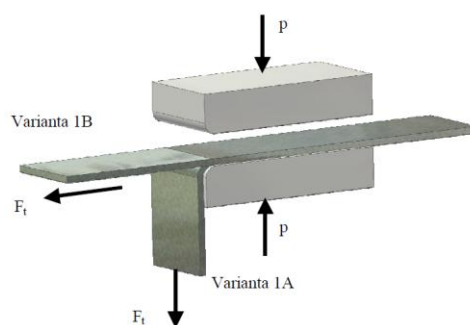
varianta měření	1B				
rychlost v :	1 mm/s				
tlak p :	8MPa	16MPa	24MPa	32MPa	40MPa
Teplota T :	60°C				
množství maziva	1,5±0,2gm ⁻²				

Jelikož byly plechy opatřeny zinkovým povlakem, jehož nepříznivým vlivem je zadírání, bylo vzhledem k objektivnosti měření nutno vyleštit čelisti a to vždy po deseti vzorcích, nebo pokud se hodnoty začaly vzdalovat od reálných hodnot. Ukázka zadírání zinku na obr.3.8..

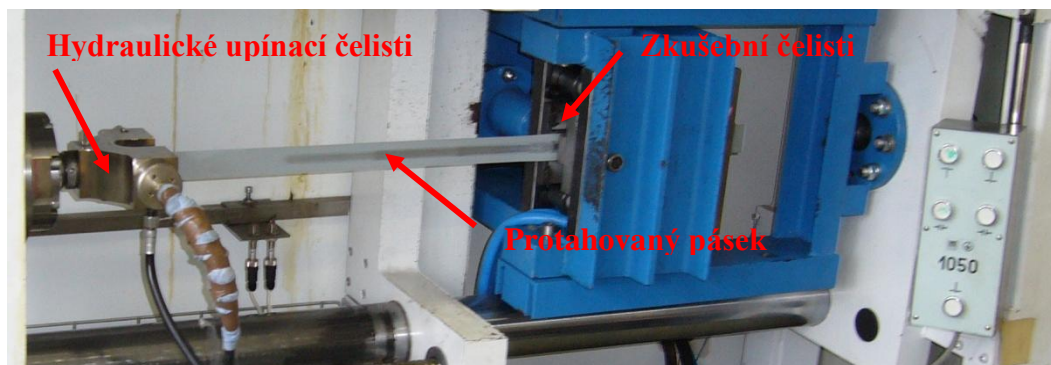


Obr.3.8.: Ukázka sedřeného povlaku zinku na vyjmuté čelisti a na protaženém pásku

Po nastavení parametrů (rychlost posuvu, kontaktní tlaky, teplota, se pásky s naneseným mazivem zakládaly mezi zkušební čelisti podle varianty 1B (viz obr.3.9.) a konec pásku se upnul v hydraulických upínacích čelistech (viz obr.3.10.).



Obr.3.9.: Princip zkušebního zařízení, kde **varianta 1A** modeluje tažení v oblasti tažné hrany a **varianta 1B** modeluje tažení v oblasti přidržovače (viz kapitola 2.8.2.)



Obr.3.10.: Detail zařízení s protahovaným páskem

Vlastní experimentální měření probíhalo v podobě protahování pásků a zaznamenávání naměřených sil pomocí softwaru LabTest v.3. Vyhodnocení naměřených hodnot je popsáno v následující kapitole.

3.6 Vyhodnocení tribologické zkoušky – určení koeficientu tření

Výsledkem naměřených hodnot jsou průběhy tažných sil v závislosti na posuvu pásku, rychlosti a tlaku, zanesených do grafu viz obr. 3.11.. Tyto průběhy slouží pro srovnání tribologických vlastností. Při zkoušce dochází k navyšování kontaktních tlaků, což vede ke změně velikosti sil potřebných k protažení pásku. Graf tak lze rozdělit na dvě části naměřených sil – náběhovou a ustálenou. Ustálené části se poté pomocí programu LabTest v.3 vyhodnocují pro jednotlivé kontaktní tlaky. Ukázka výsledného protokolu je na obr.3.11..

Při hodnocení a výpočtu koeficientu tření se zohledňují tyto síly:

- F_{\max} – maximální síla dosažená při zkoušce
- F_h – maximální síla, které bylo dosaženo v ustálené části diagramu
- F_{\min} – minimální síla, které bylo dosaženo v ustálené části diagramu
(v digramu označeno jako Fl)
- F_s – střední síla v ustálené oblasti měření
- ΔF – velikost rozkmitu síly v ustálené oblasti měření ($\Delta F = F_h - F_{\min}$)

Z těchto naměřených sil se určuje koeficient tření, pro jeho výpočet byla stanovena síla F_h . Výpočet koeficientu tření při testování variantou 1B je pro jednotlivé podmínky testu dán vztahem (5)

$$\mu = \frac{F_h}{2Q} \quad [-] \quad (5)$$

Kde je:

F_h ... maximální síla, které bylo dosaženo v ustálené části diagramu [N]

Q ... normálová přitlačná síla [N]

$$Q = p * S \quad [N] \quad (6)$$

Kde je:

p ... kontaktní tlak v čelistech [Pa]

S ... kontaktní plocha čelistí [m²]

Poznámka - Pro některé substráty byl tlak 40MPa natolik velký, že již nedocházelo k tribologické zkoušce (protahování pásky), ale pásek v čelistech stál a experiment tak připomínal zkoušku tahovou, pro tyto substráty se tlak 40MPa nezohledňoval.

Technická univerzita v Liberci
Katedra strojírenské technologie

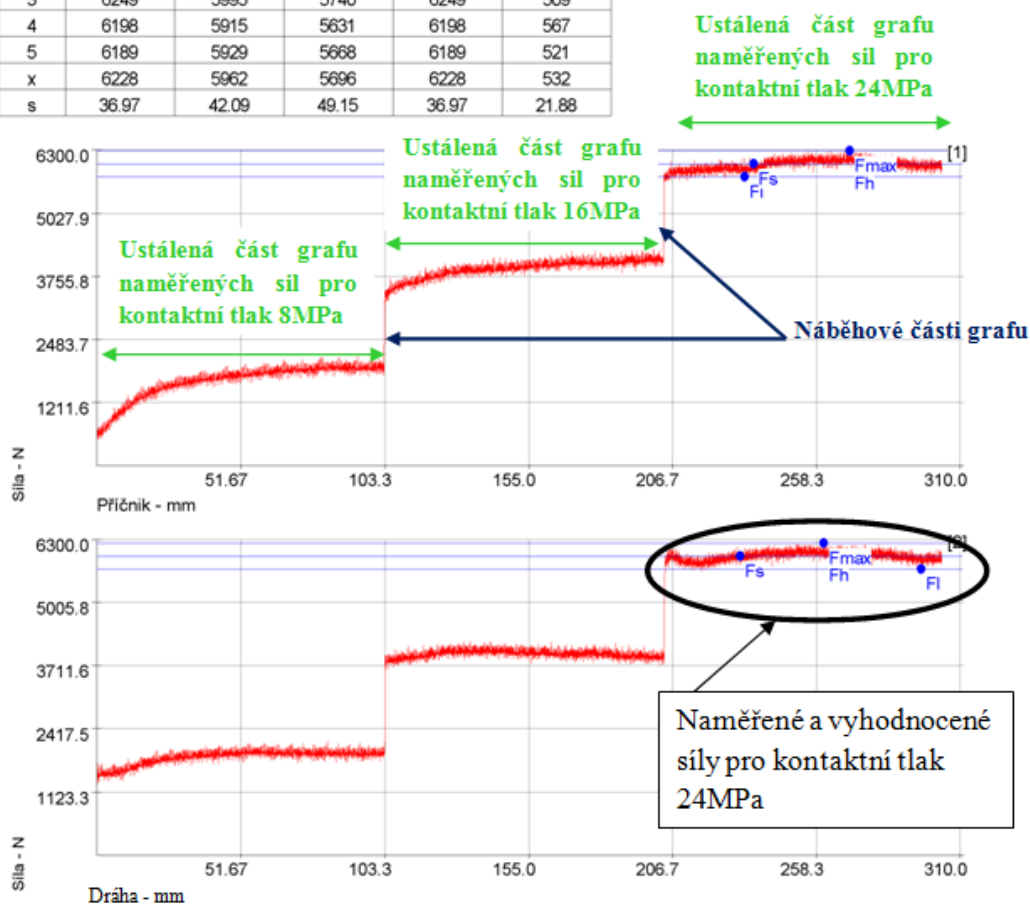
Zkouška protahováním pásku

Vstupní hodnoty

Testované mazivo :	Anticorit PL 3802-39S	Kontaktní plocha :	20 mm x 20 mm
Množství maziva :	1,5 g/m ²	Rychlost posuvu :	1 mm/s
Testovaný substrát :	EG - Arcelor	Varianta :	1B
Drsnost povrchu :	Ra=1,44/1,55 μm PC=58/62 1/cm	Teplota :	60 °C
Materiál nástroje :	GGG 70L - natur	Rychlost snímání dat :	2 kHz
Kontaktní tlak :	24 MPa	Měřená délka :	100 mm

Výstupní hodnoty

Zkouška	F _{max} N	F _s N	F _I N	F _h N	delta F N
1	6279	6014	5748	6279	531
2	6224	5959	5695	6224	529
3	6249	5995	5740	6249	509
4	6198	5915	5631	6198	567
5	6189	5929	5668	6189	521
x	6228	5962	5696	6228	532
s	36.97	42.09	49.15	36.97	21.88



Obr.3.11.: Ukázka výsledného protokolu z měření pro kontaktní tlak 24MPa.

Výstupní protokol měření obsahuje vstupní hodnoty, kde jsou vypsány všechny důležité parametry měření, výstupní hodnoty (tabulka naměřených sil) a ukázky průběhů sil dvou pásků (vzorků).

Všechny protokoly jsou na přiloženém CD nosiči, v adresáři „Protokoly“.

3.7 Naměřené výsledky tribologické zkoušky

Tabulka 7.: Naměřené výsledky a vypočtený koeficient tření pro substrát ArcelorMittal

Testovaný substrát: ArcelorMittal; rychlost posuvu 1mm/s			
Testované mazivo v množství 1,5g/m ²		ACPL - 39S	PL61
8MPa	F _{max} [N]	2157	1934
	F _s [N]	1911	1492
	Δ F [N]	493	627
	F _h [N]	2157	1806
	μ [-]	0,34	0,28
16MPa	F _{max} [N]	4174	3656
	F _s [N]	3884	2962
	Δ F [N]	579	1383
	F _h [N]	4174	3653
	μ [-]	0,33	0,29
24MPa	F _{max} [N]	6228	5445
	F _s [N]	5962	4130
	Δ F [N]	532	2629
	F _h [N]	6228	5445
	μ [-]	0,32	0,28
32MPa	F _{max} [N]	9623	9329
	F _s [N]	7240	7803
	Δ F [N]	1361	1798
	F _h [N]	7921	8702
	μ [-]	0,31	0,34
40MPa	F _{max} [N]	10380	10597
	F _s [N]	8720	9700
	Δ F [N]	1433	1156
	F _h [N]	9437	10278
	μ [-]	0,29	0,32

Tabulka 8.: Naměřené výsledky a vypočtený koeficient tření pro substrát ThyssenKrupp

Testovaný substrát: ThyssenKrupp; rychlost posuvu 1mm/s			
Testované mazivo v množství 1,5g/m ²		ACPL - 39S	PL61
8MPa	F _{max} [N]	2652	2204
	F _s [N]	2336	1942
	Δ F [N]	632	524
	F _h [N]	2652	2204
	μ [-]	0,41	0,34
16MPa	F _{max} [N]	5438	4930
	F _s [N]	4646	4617
	Δ F [N]	1577	626
	F _h [N]	5434	4930
	μ [-]	0,42	0,39
24MPa	F _{max} [N]	7582	7390
	F _s [N]	6970	6928
	Δ F [N]	809	924
	F _h [N]	7374	7390
	μ [-]	0,38	0,38
32MPa	F _{max} [N]	9075	9090
	F _s [N]	8561	8284
	Δ F [N]	1029	1612
	F _h [N]	9075	9090
	μ [-]	0,35	0,36
40MPa	F _{max} [N]	10537	∞
	F _s [N]	9920	∞
	Δ F [N]	1234	∞
	F _h [N]	10537	∞
	μ [-]	0,33	∞

Poznámka:

∞ - tento znak je u substrátů, pro které byl tlak 40MPa natolik velký, že již nedocházelo k tribologické zkoušce a hodnoty pro tento tlak nejsou ve výsledcích hodnoceny

Tabulka 9.: Naměřené výsledky a vypočtený koeficient tření pro substrát Voestalpine

Testovaný substrát: Voestalpine; rychlost posuvu 1mm/s			
Testované mazivo v množství 1,5g/m ²		ACPL - 39S	PL61
8MPa	F _{max} [N]	2061	2213
	F _s [N]	1549	1858
	Δ F [N]	725	665
	F _h [N]	1911	2191
	μ [-]	0,30	0,34
16MPa	F _{max} [N]	3852	5022
	F _s [N]	3414	4386
	Δ F [N]	821	1273
	F _h [N]	3825	5022
	μ [-]	0,30	0,39
24MPa	F _{max} [N]	6676	7849
	F _s [N]	6146	6977
	Δ F [N]	1059	1745
	F _h [N]	6676	7849
	μ [-]	0,35	0,41
32MPa	F _{max} [N]	9079	9683
	F _s [N]	8389	8823
	Δ F [N]	1382	1720
	F _h [N]	9079	9683
	μ [-]	0,35	0,38
40MPa	F _{max} [N]	∞	∞
	F _s [N]	∞	∞
	Δ F [N]	∞	∞
	F _h [N]	∞	∞
	μ [-]	∞	∞

Poznámka:

∞ - tento znak je u substrátů, pro které byl tlak 40MPa natolik velký, že již nedocházelo k tribologické zkoušce a hodnoty pro tento tlak nejsou ve výsledcích hodnoceny

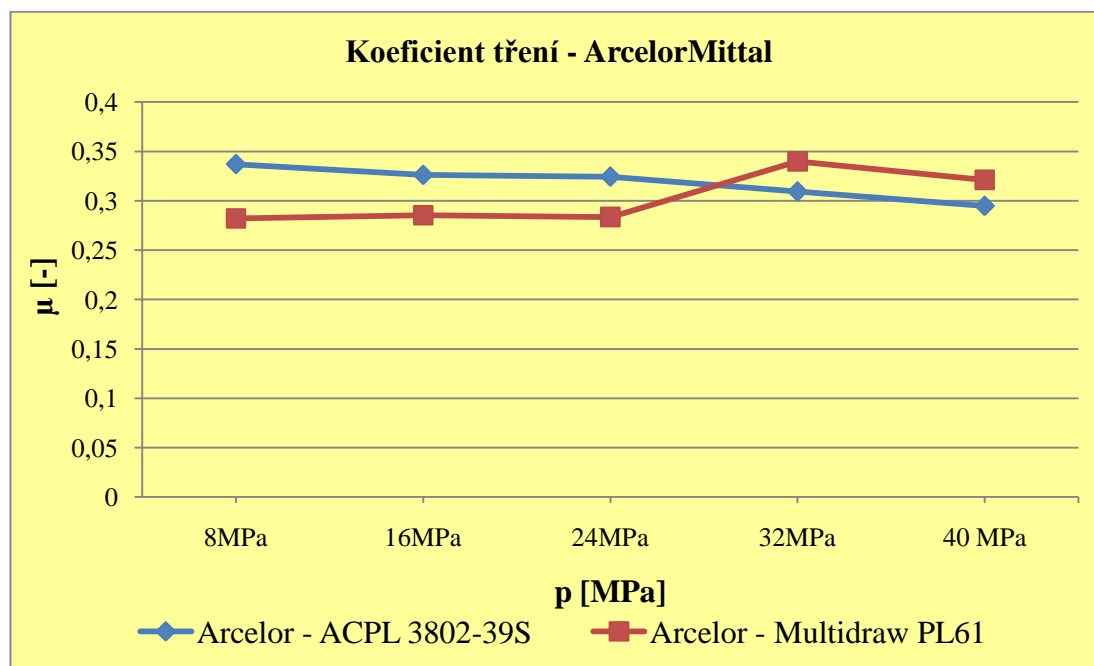
4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z naměřených hodnot tribologické zkoušky uvedených v tabulkách výše (kapitola 3.7.), byly sestrojeny grafy koeficientu tření. Grafy jsou sestrojeny v závislosti na kontaktním tlaku pro každý substrát a olej zvlášť.

Pro jednotnost je zde uvedena kombinace testů, která byla použita při experimentální zkoušce:

- protahování pásků variantou 1B
- oleje: ANTICORIT PL 3802-39 S; Multidraw PL 61
- teplota: $T = 60^{\circ}\text{C}$
- rychlost: $v = 1\text{mm/s}$
- kontaktní tlaky: $p = 8; 16; 24; 32; 40\text{MPa}$
- substráty EG: ArcelorMittal, ThyssenKrupp, Voestalpine

4.1 Rozbor koeficientu tření u substrátu ArcelorMittal

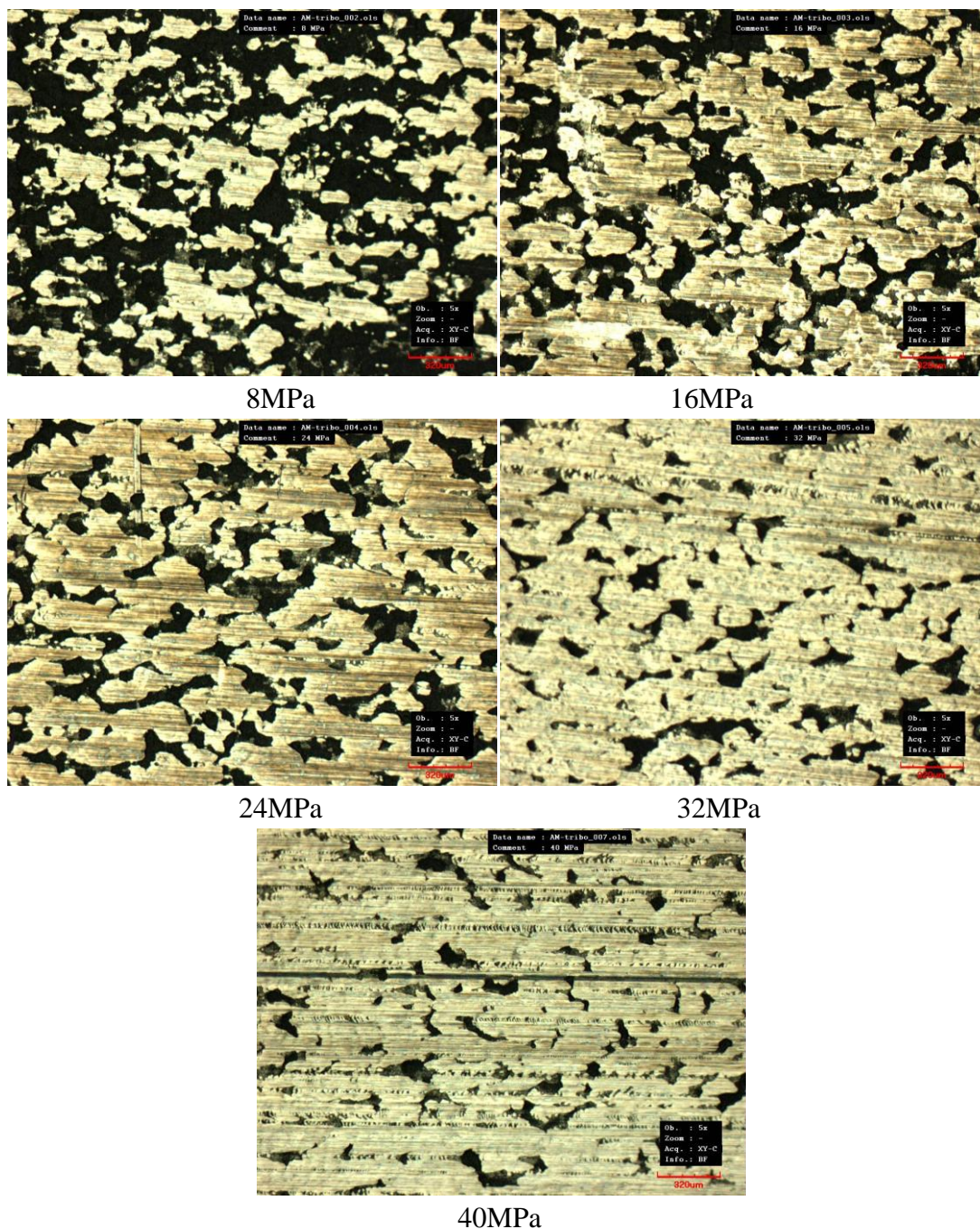


Graf 1.: Koeficient tření substrátu ArcelorMittal

Z výsledků měření vynesných v grafu 1 je zřejmé, že koeficient tření při použití oleje Multidraw PL61 (pro tlaky 8, 16, 24MPa) se pohybuje v rozmezí $\mu=0,28\div0,29$, což je v průměru o 5% nižší než při použití oleje ACPL 3802-39S, poté se skokově mění a u tlaků 32 a 40MPa je o 3% vyšší. Tato skoková změna je podmíněna mazacími vlastnostmi oleje - tudíž substrát od ArcelorMittal s naneseným olejem ACPL 3802-39S odolává lépe vyšším tlakům o hodnotách 32, 40MPa.

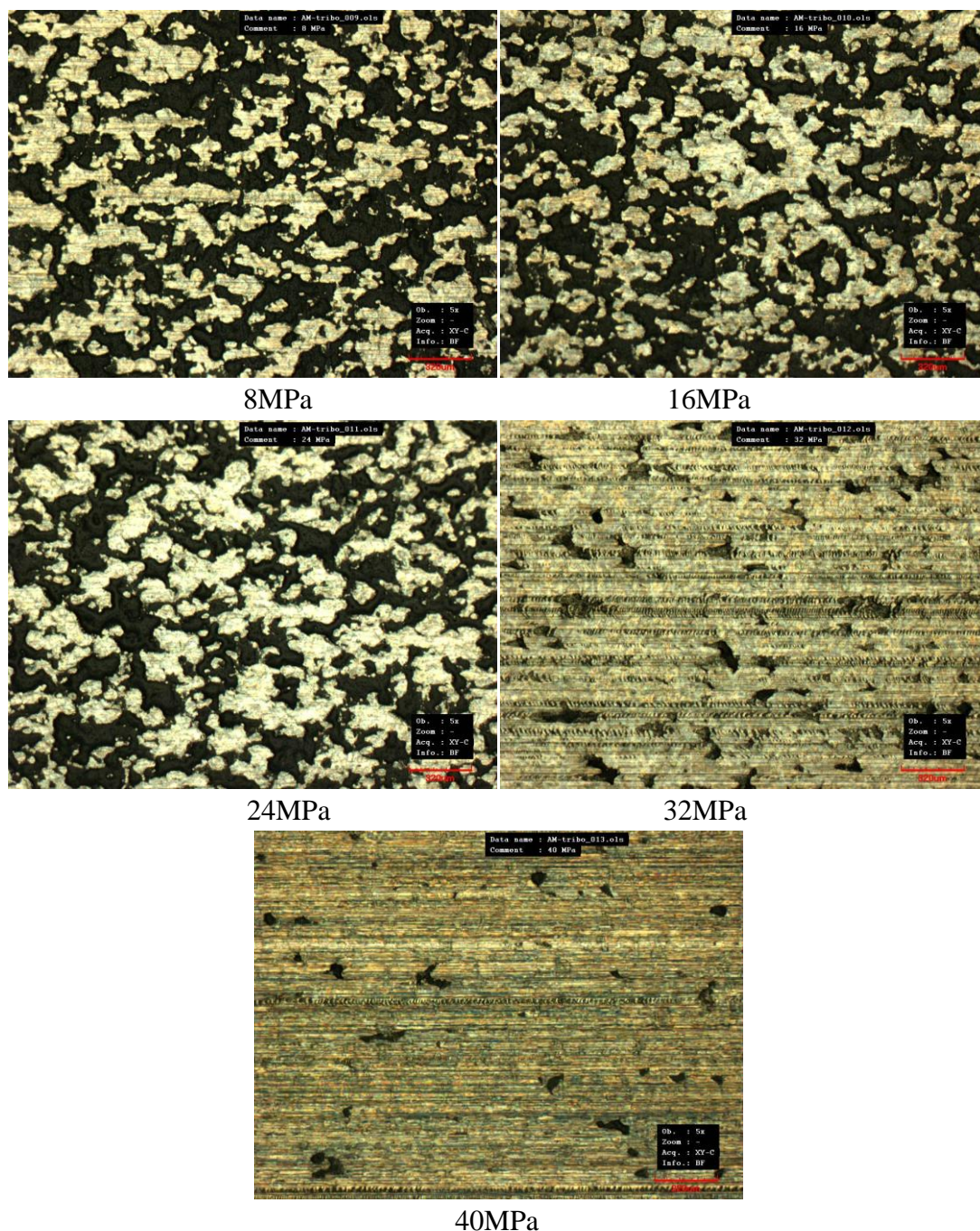
4.1.1 Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu – ArcelorMittal

Na obr.4.1. a obr.4.2. jsou snímky přidírajícího se pásku, snímky jsou nafoceny pro testované tlaky.



Obr.4.1: Snímky protaženého pásku ArcelorMittal s olejem ACPL 3802-39S

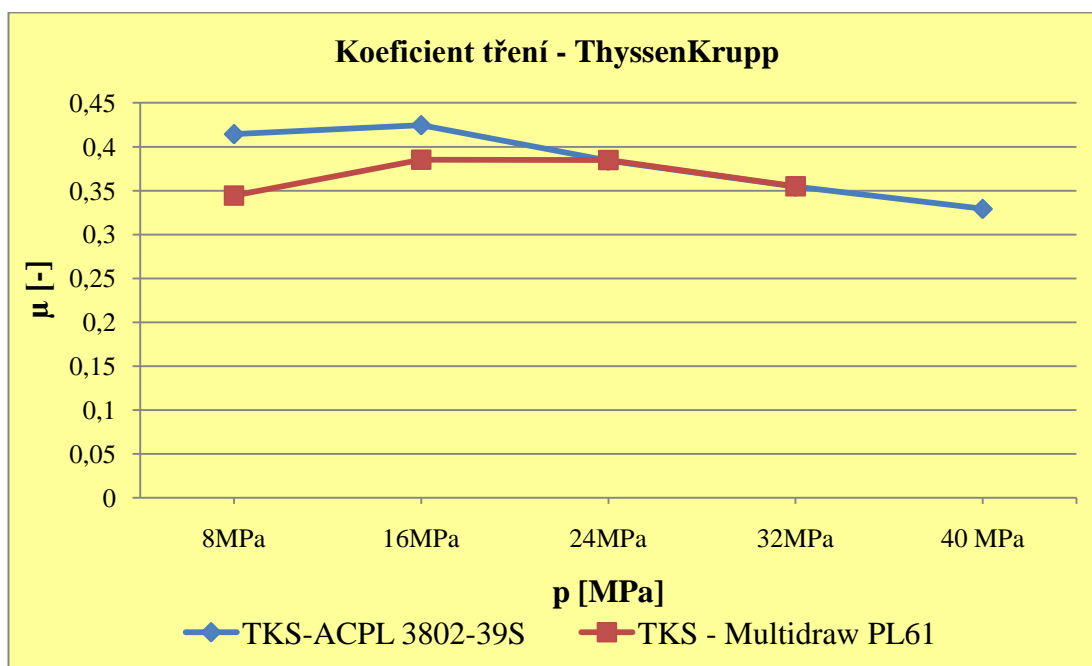
Na snímcích z mikroskopu protaženého pásku s olejem ACPL 3802-39S je patrné, že odírání zinkové vrstvy probíhalo postupně s narůstajícím tlakem. Na snímku pásku protaženého kontaktním tlakem 40 MPa jsou ještě pozorovatelné malé ostrůvky povlaku zbylého zinku.



Obr.4.2.: Snímky protaženého pásku ArcelorMittal s olejem Multidraw PL 61

Ze snímků z mikroskopu je zřejmé, že u pásků protažených za tlaků 8,16,24MPa s olejem Multidraw PL61 probíhalo postupné narušování zinkové vrstvy, ale za tlaků 32,40MPa je patrné, že EG povlak je celý sedřený, což lze pozorovat na grafu 1 zvýšením koeficientu tření právě u oleje Multidraw PL61.

4.2 Rozbor koeficientu tření u substrátu ThyssenKrupp



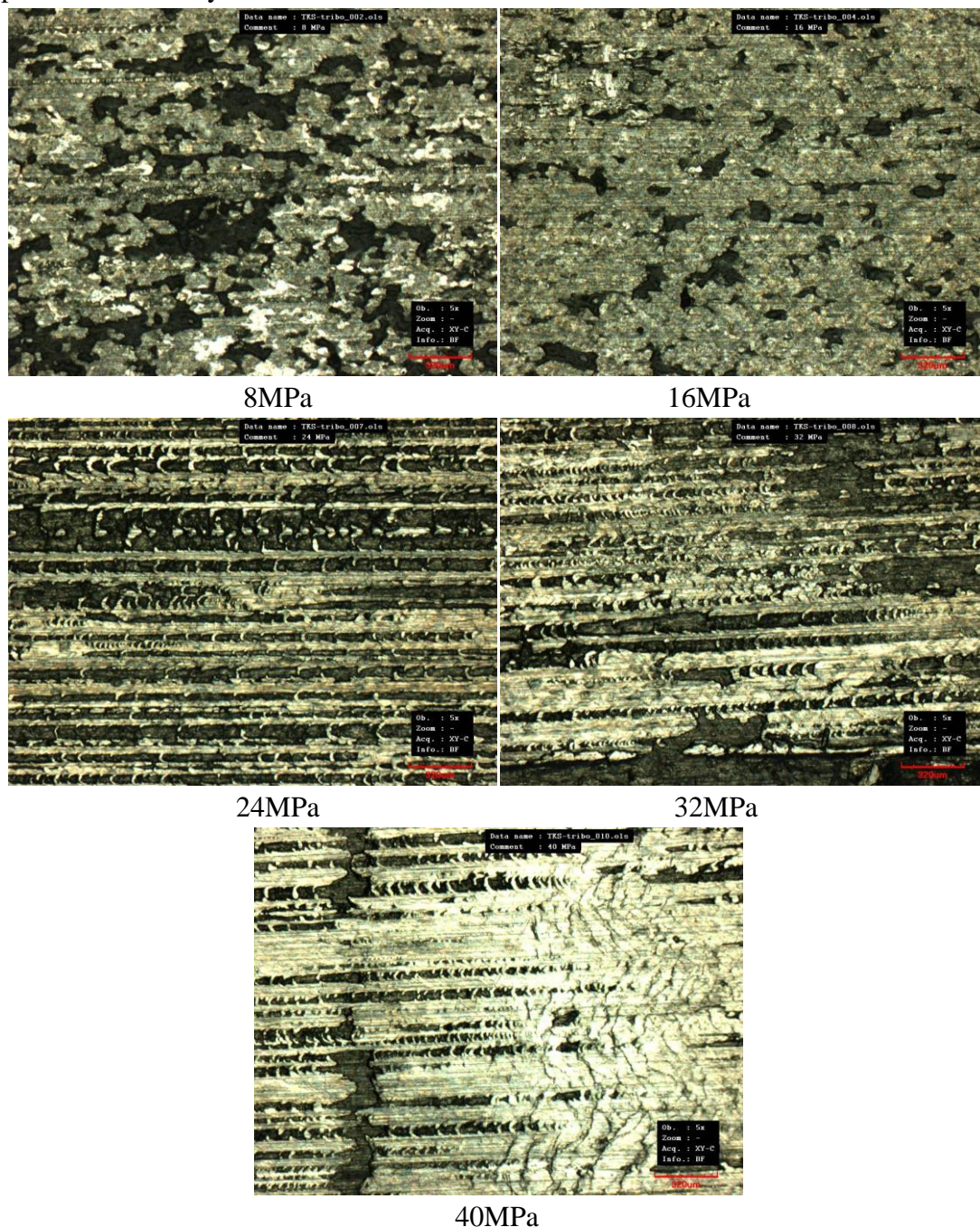
Graf 2.: Koeficient tření substrátu ThyssenKrupp

Dle výsledků vynesných v grafu 2 je patrné, že při počáteční hodnotě tlaku 8MPa je o 7% nižší koeficient tření při použití oleje Multidraw PL61. U obou olejů křivka koeficientu tření nejprve roste a na hodnotě 16MPa velikost koeficientu začíná stagnovat a poté dochází k poklesu koeficientu tření až do hodnoty konečného tlaku 40MPa. Na kontaktním tlaku 24MPa je koeficient tření v rozmezí $\mu=0,384\div0,385$ (na kontaktním tlaku 32MPa je toto rozmezí $\mu = 0,354\div0,355$) což jsou rozdíly do 1%.

Pro vzorky protahované s olejem Multidraw PL61 byl tlak 40MPa natolik velký, že došlo k zastavení pásu a již se nejednalo o tribologickou zkoušku, proto nejsou výsledky vyhodnocovány.

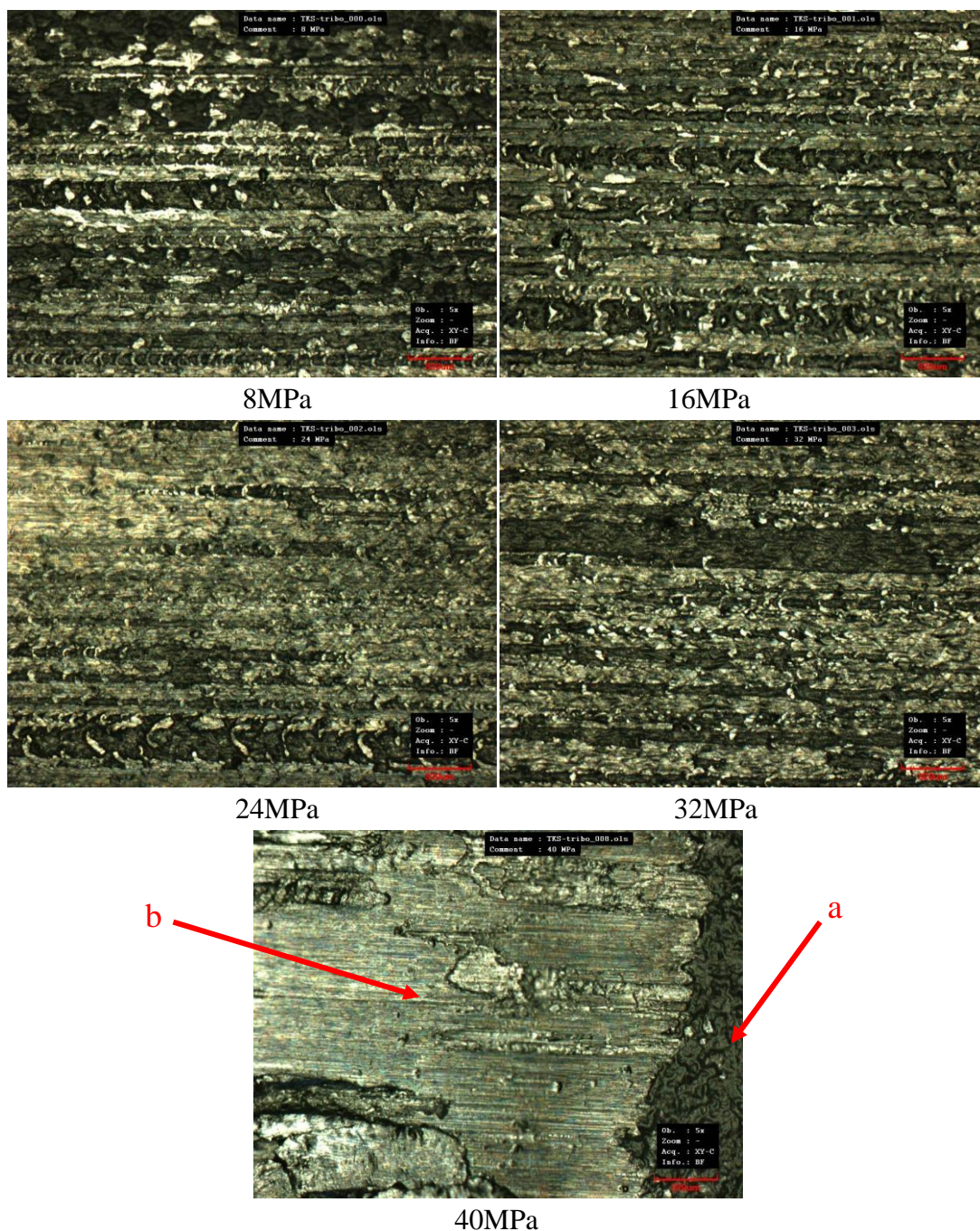
4.2.1 Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu - ThyssenKrupp

Na obr.4.3. a obr.4.4. jsou snímky přidírajícího se pásku, snímky jsou nafoceny pro testované tlaky.



Obr.4.3.: Snímky protaženého pásku ThyssenKrupp s olejem ACPL 3802-39S

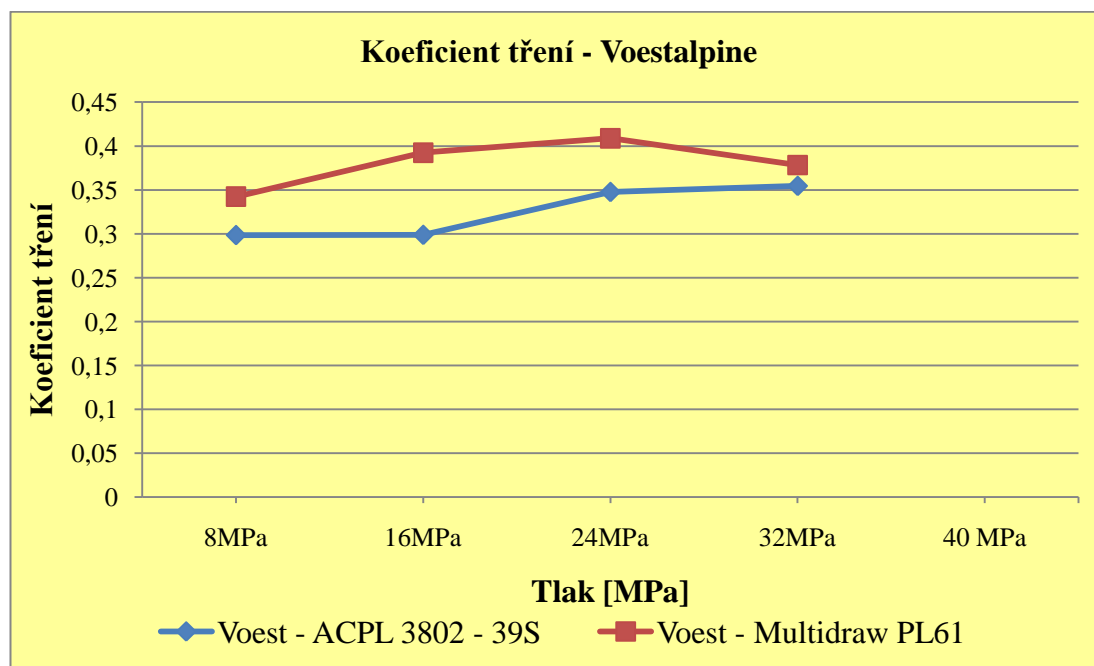
Na snímcích z mikroskopu protaženého pásku s olejem ACPL 3802-39S je patrné, že u tlaků 8, 16MPa docházelo k postupnému odírání zinkové vrstvy, u tlaků 24, 32MPa je vidět že zinkový povlak je zadřené a u tlaku 40MPa je vidět nahrnutí zinkového povlaku i se základním materiálem.



Obr.4.4.: Snímky protaženého pásu ThyssenKrupp s olejem Multidraw PL 61

Ze snímků z mikroskopu je zřejmé, že u pásů protažených s olejem Multidraw PL61 došlo k většímu porušení zinkové vrstvy hned u prvního tlaku (8MPa), a při následném zvyšování tlaků se rýhy rozšiřovaly a prohlubovaly. Pro doplnění je uveden i snímek pro tlak 40MPa, na němž je patrné zastavení pásu – na pozici „a“ je viditelná původní textura povrchu, na pozici „b“ je patrný sedřený povlak zinku.

4.3 Rozbor koeficientu tření u substrátu Voestalpine



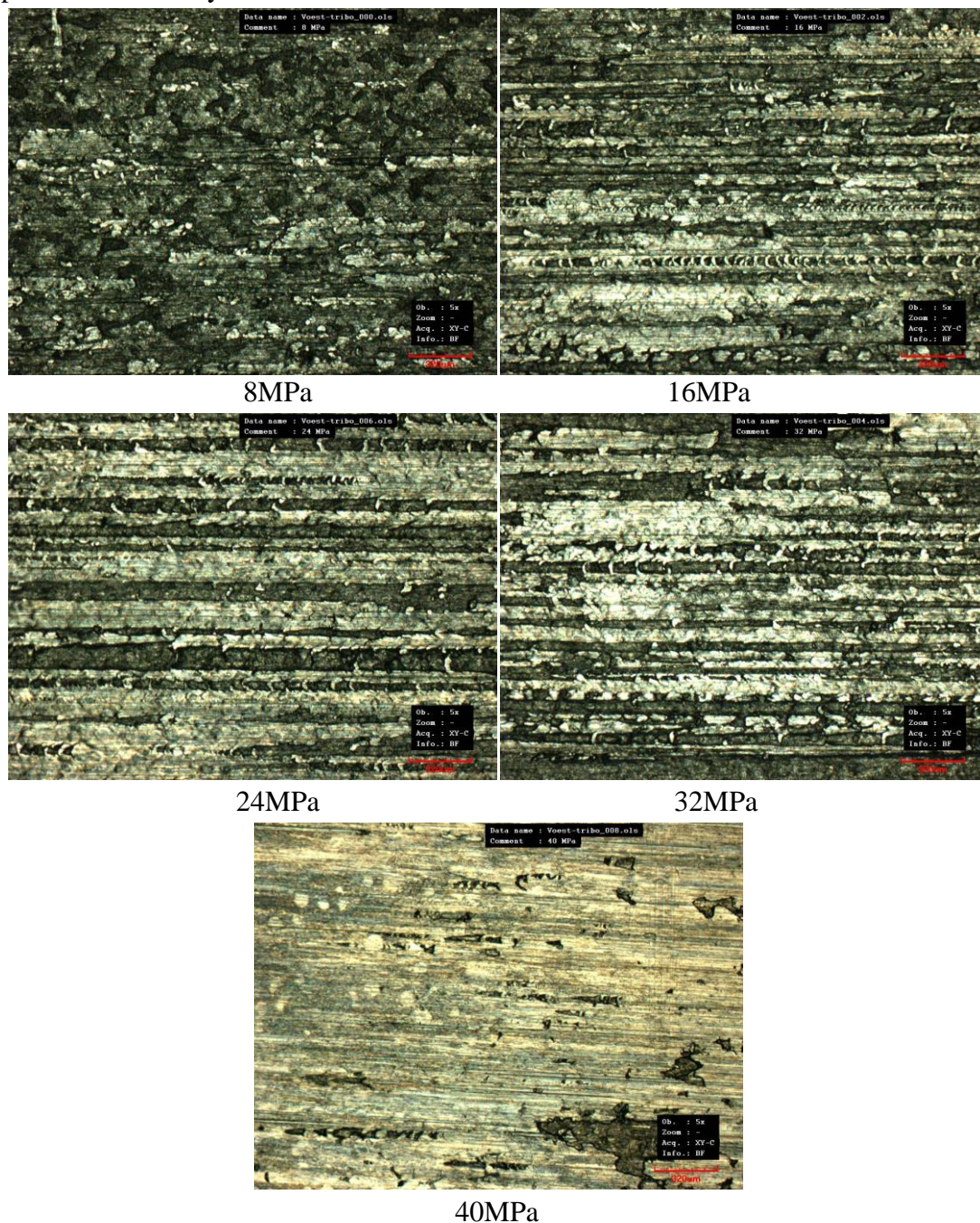
Graf 3.: Koeficient tření substrátu Voestalpine

Z grafu 3 je patrné, že koeficient tření při použití oleje Multidraw PL61 se pohybuje v rozmezí $\mu = 0,34 \div 0,41$ to je výrazně vyšší než při použití oleje ACPL 3802-39S, při kontaktním tlaku 16MPa činí tento rozdíl až 10%. Koeficient tření při protahování pásků s olejem Multidraw PL61 roste až do hodnoty tlaku 24MPa. Na této hodnotě začíná stagnace a nastává pokles velikosti koeficientu tření na hodnotu $\mu = 0,3782422$. Kdežto při protahování pásků s olejem ACPL 3802-39S má křivka koeficientu tření již od počátku stoupající charakter.

Jak již bylo zmíněno, tlak 40MPa byl také natolik velký, že došlo k zastavení pásku a již se nejednalo o tribologickou zkoušku, proto v grafu není uveden koeficient tření pro tento tlak.

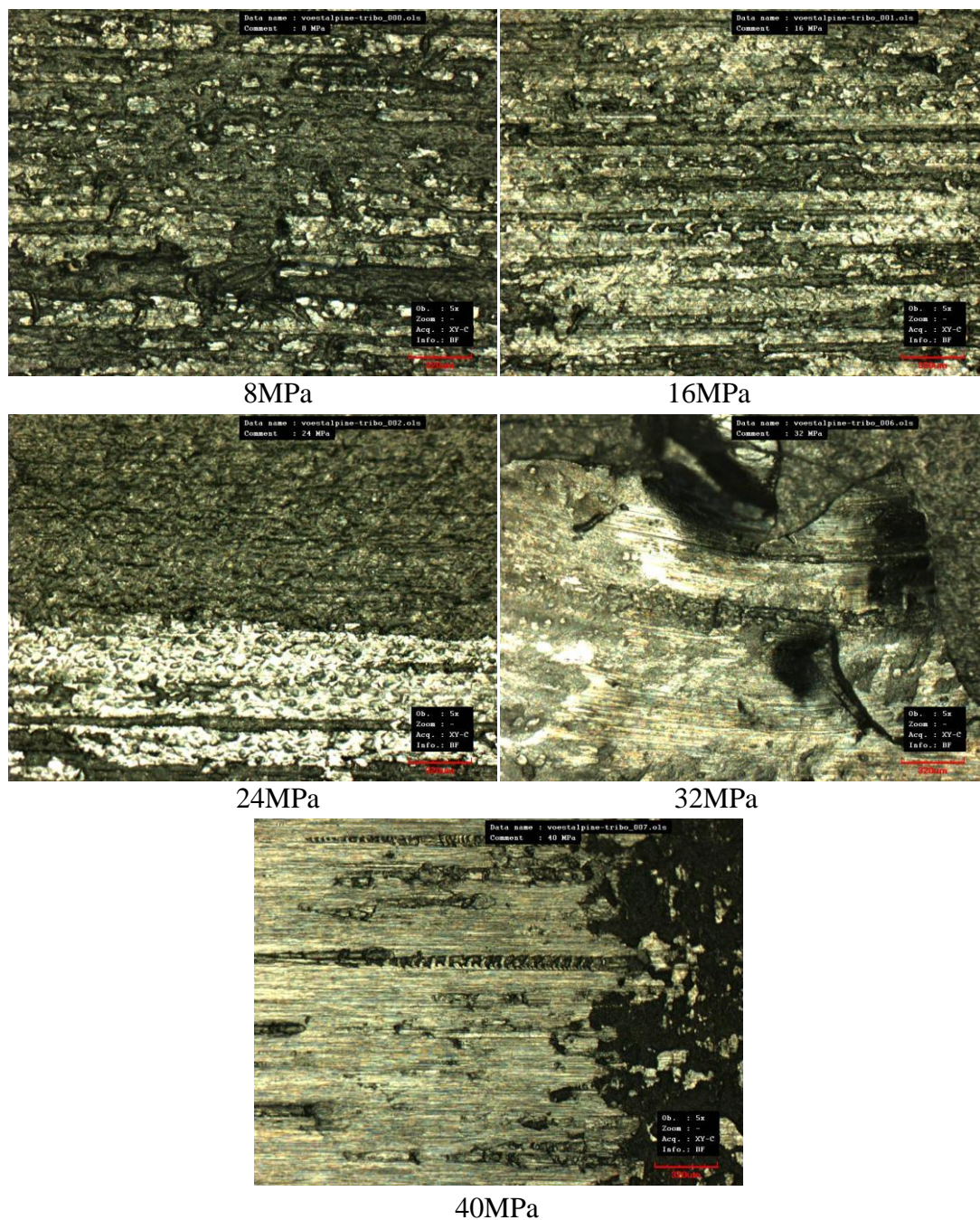
4.3.1 Snímky z mikroskopu již protaženého materiálu - Voestalpine

Na obr.4.5. a obr.4.6. jsou snímky přidírajícího se pásku, snímky jsou nafoceny pro testované tlaky.



Obr.4.5.: Snímky protaženého pásku Voestalpine s olejem ACPL 3802-39S

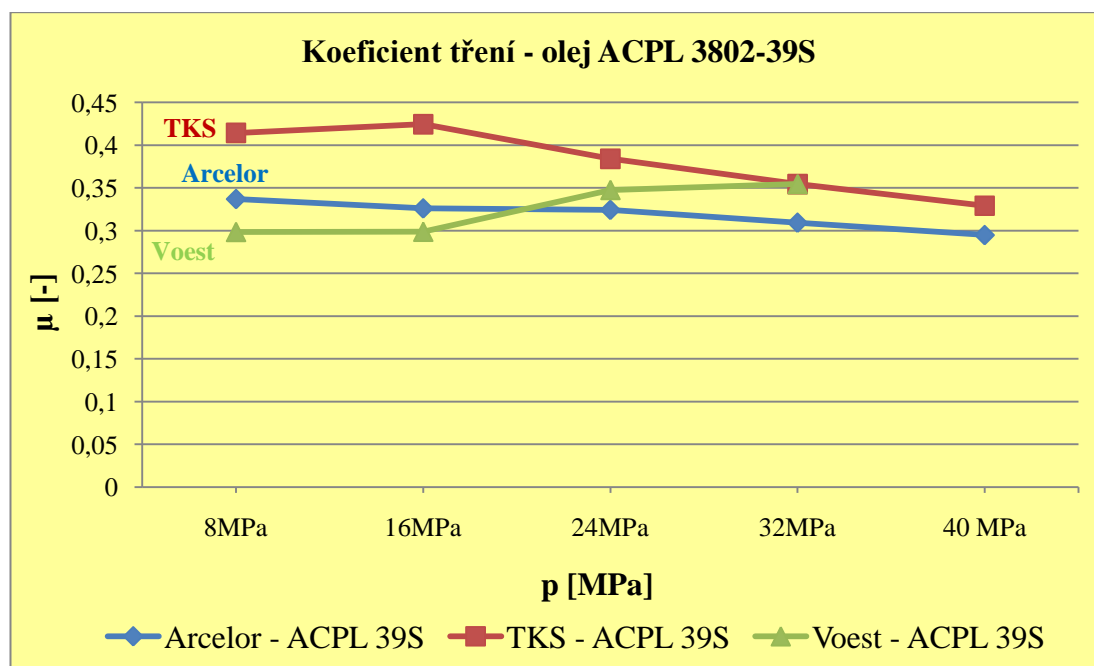
Na snímcích z mikroskopu je zřejmé, že u oleje ACPL 3802-39S probíhalo protahování s postupným sedřením zinkové vrstvy. Při zvýšení tlaku došlo k prohloubení a rozšíření míst oděru. Snímek pro tlak 40MPa je uveden pro ucelený náhled snímků, na něm je viditelné úplné sedření vrstvy zinku.



Obr.4.6.: Snímky protaženého pásku ThyssenKrupp s olejem Multidraw PL 61

Na snímcích z mikroskopu je zřejmé, že u oleje Multidraw PL61 docházelo u tlaků 8 a 16MPa k postupnému odírání vrstvy zinku, u snímku pro tlak 24MPa je v dolní části patrná rýha, vzniklá sedřením zinku, až na základní materiál. Snímek pro tlak 32MPa je charakteristický deformacemi povrchové struktury, důvodem vzniku bylo hromadění sedřeného zinku před čelisti, který se následně dostal mezi čelisti a byl tlakem vtlačen do protahovaného vzorku. Snímek pro tlak 40MPa opět jen pro kompletaci série snímků.

4.4 Hodnocení protažených materiálů s olejem ACPL3802-39S

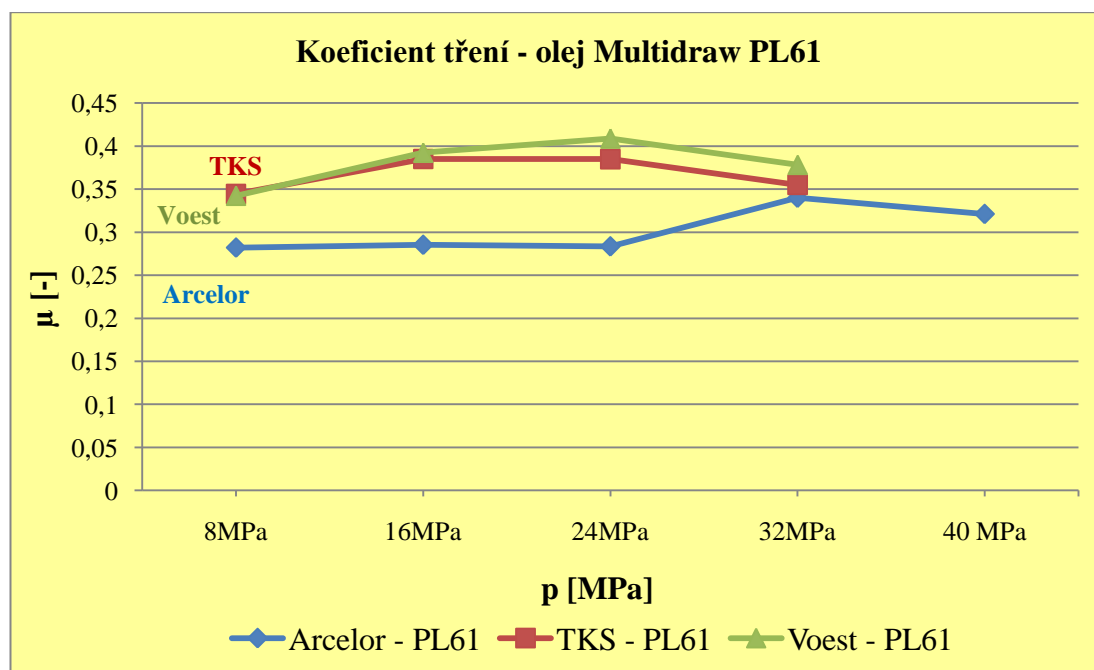


Graf 4.: Koeficient tření s olejem ACPL3802-39S

Z grafu 4 je zřejmé, že při experimentální zkoušce substrátů s olejem ACPL 3802-39S byl nejvyšší koeficient tření $\mu = 0,42$ zjištěn u výrobce ThyssenKrupp.

S ohledem na mikrostrukturu je zřejmé, že při použití oleje ACPL 39S, se jeví jako nejvhodnější hrubozrnná mikrostruktura, kterou se vyznačuje výrobce Voestalpine. Mikrostruktura povlaku zinku u ThyssenKrupp je velice jemnozrnná, krystalky zinku jsou uspořádány vedle sebe, což má za následek vyšší počet ostřejších výstupků, které při použití oleje ACPL 3802-39S u tlaků 8 a 16 MPa za následek zvýšení koeficientu tření až o 12%. Substrát od ArcelorMittal má koeficient tření u tlaků 8 a 16 MPa o 3% vyšší než má substrát Voestalpine, ale u substrátu Voestalpine u tlaku 24 MPa došlo ke skokovému zvýšení koeficientu tření, což naznačuje, že tento substrát špatně snáší nárůst tlaku.

4.5 Hodnocení protažených materiálů s olejem Multidraw PL61



Graf 5.: Koeficient tření s olejem Multidraw PL61

Průběh koeficientu tření sestavený z naměřených hodnot při experimentální zkoušce materiálů s olejem Multidraw PL61 vyšel u výrobců ThyssenKrupp a Voestalpine s přibližně stejným trendem, konečný rozdíl při kontaktním tlaku 32MPa činí 2% ve prospěch ThyssenKrupp. ArcelorMittal má hodnotu koeficientu tření (pro kontaktní tlaky 8, 16, 24MPa) $\mu = 0,285 \pm 0,01$, což je nejmenší naměřená hodnota koeficientu tření ze všech testovaných substrátů.

S ohledem na mikrostrukturu zinkového povlaku u výrobce ArcelorMittal jsou viditelné lamely zinku v ostrých krystalech. Nanesené mazivo tak mělo možnost ulpět v nerovnostech a při vlastním tažení docházelo k postupnému snižování (obrušování a odírání) vrcholů těchto lamel, prohlubně mezi krystaly byly jako zásobárna oleje. Proto u tohoto substrátu vyšel nejnižší koeficient tření ze tří testovaných substrátů. Na základě mikroskopických snímků bylo zjištěno, že povlak od výrobce ThyssenKrupp je složen z velice jemnozrnných neuspořádaných lamelek zinku. Na snímcích protaženého pásu s olejem Multidraw PL61 je zřejmé, že již při prvním tlaku 8MPa došlo k otěru pík lamelek a jelikož jsou výrazně menší nežli u substrátu ArcelorMittal, nebylo zde k dispozici takové množství maziva, aby se docílil nižší koeficient tření. Mikrostruktura Voestalpine je odlišná od předchozích substrátů tím, že jsou na ni zřejmě vykrystalizované velké plošné lamely zinku, které tvoří plošky, což mělo za následek nejvyšší koeficient tření, neboť při protahování nebyl prostor pro dostatek oleje (zásobárnu oleje) a docházelo tak k velkému tření od prvních tlaků.

5. ZÁVĚR

Hlavním úkolem bakalářské práce bylo vzájemně porovnat a vyhodnotit tribologické vlastnosti tří různých povrchů elektrolyticky pozinkovaných materiálů používaných při tažení karosářských výlisků. Tohoto cíle bylo dosaženo za pomoci laboratorních testů, které simulovaly proces tažení.

Bakalářská práce byla řešena ve spolupráci se Škoda Auto, a. s. v Mladé Boleslavi. Experimentální měření bylo prováděno v laboratořích Katedry strojírenské technologie na speciálním tribologickém zařízení. Tato zařízení modelují tření mezi přidržovačem a tažnicí. Pro danou kombinaci technologických podmínek byly zjišťovány průběhy tažných sil, které dále sloužily pro výpočet koeficientu tření.

V současné době se používají dva druhy povlaků, a to EG a HDG. EG, nebo-li elektrolyticky povlakované plechy, se používají pro tvarově složitější výlisky. Povlaky HDG, vytvořené žárovým zinkováním, mají horší tvářecí vlastnosti, ale i přesto postupně začínají vytlačovat plechy s EG povlaky. Existuje pro to hned několik důvodů. Jedním z nich je jednoznačně cena. HDG plechy jsou mnohem levnější a v sériové výrobě je to neocenitelná záležitost. Dalším důvodem je hlubokotažnost daného plechu. Díky tomu, že EG plechy neprocházejí tepelnou úpravou, dosahují lepších vlastností v tahu. Těmito vlastnostem se snaží vyrovnat výrobci HDG, kteří již vynalezli takové technologie, které dokáží vytvořit plech konkurenčně schopný.

Z výsledků experimentálního měření třech substrátů s EG povlaky není možné jednoznačně určit, který ze zkoumaných povlaků je lepší. U každého výrobce EG plechu byla zjištěna jiná mikrostruktura povrchu, která se projevuje jinými tribologickými vlastnostmi (mazání, tření, opotřebení, viz kap. 2.9). Mikrostruktura každého testovaného materiálu se chová jinak s ohledem na použitý olej.

Lze tedy říci, že s minimálními rozdíly je nejlepším dodavatelem plechu s nejnižším koeficientem tření o rozmezí $\mu=0,28\div0,34$ ArcelorMittal. Mikrostruktura povrchu je charakteristická většími lamelovými krystaly, které se ukázaly jako nejvhodnější typ. Při protahování se píky krystalků začínou postupně zplošťovat (odírat) a vznikají tak mezi nimi prohlubně, které zadržují mazivo a to následně působí jako zásobárna pro snadnější tažení plechů při lisování.

Naopak největších koeficientů bylo naměřeno u plechu od výrobce ThyssenKrupp, které se pohybovaly v rozmezí $\mu=0,34\div0,42$. Tento plech se vyznačuje velice jemnozrnnými lamelkami zinku, které jsou uspořádány vedle sebe kolmo k základnímu substrátu, což má za následek vyšší počet ostřejších výčnělků (píků), které se při tažení vzorku rychleji zploští a tím nedokáží udržet dostatečné množství maziva pro optimální tažení.

Koeficient tření substrátu od firmy Voestalpine se pohyboval v rozmezí $\mu=0,41\div0,30$, který se v porovnání s předchozími dvěmi dodavateli jeví průměrně (koeficient tření nedosahuje nejnižších ani nejvyšších hodnot ve vztahu ke koeficientům ArcelorMittalu či ThyssenKruppu). Jedná se o nejhrubozrnnější povrch s velkými lamelami zinku, uspořádané rovnoběžně na sobě, se základním substrátem, které na povrchu tvoří plošky.



Na základě experimentálních výsledků by bylo vhodné při příštích měřeních doplnit analýzu plnění povrchů oleji. Tato analýza by sloužila k lepšímu zmapování morfologie povrchů s ohledem na ulpívání maziva a k podrobnějšímu prozkoumání tribologických vlastností. Celá analýza by napomohla k nalezení optimální kombinace mikrostruktury povrchu a použitého maziva a tím zmírnění poškození plechu během tvářecího procesu.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MACHEK, V.: Tenké ocelové pásy a plechy válcované za studena. SNTL, Praha 1987
- [2] Svařená karoserie [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z <http://www.volke.cz/svare.html>
- [3] LENFELD, P.: Technologie II – tváření kovů, Skripta TUL, Liberec 2009, ISBN 978-80-7372-466-5
- [4] Thyssenkrupp Stahl Service Center [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z <http://www.thyssenkrupp-stahl-service-center.com>
- [5] Arcelormittal [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.arcelormittal.com/fce/prg/new_web_list.pl?langlist=DE
- [6] Salzgitter Fachstahl [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.salzgitter-flachstahl.de/en/Ueber_uns/Produktionsanlagen/Kaltbreitbandwalzwerk
- [7] SEDLÁČEK, V.: Povrchy a povlaky kovů, ČVUT Praha, 1992
- [8] KŘÍŽ, R.: Strojírenská příručka, SCIENTA, Praha 1998, ISBN 80-7183-054-2
- [9] KOLNEROVÁ, M.: Vliv technologických podmínek na vznik zadírání pozinkovaných plechů při tažení, Disertační práce, TU v Liberci, 2005
- [10] KOLEKIV AUTORŮ: Nové smery v technológii žiarového zinkovania, ČSTVTS Bratislava, 1987
- [11] Žárové zinkování [online]. [cit. květen 2011]. Dostupné z http://www.arcelor-bremen.com/fileadmin/downloads/AM_ImageFlyer_08_zahl.pdf
- [12] SEDLÁČEK, V.: Neželezné kovy a slitiny, SNTL Praha 1979
- [13] Metoda EDT [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.texturingtechnology.co.uk/roll_texturing.html
- [14] Metoda EBT [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.arcelormittal.com/gent/prg/selfware.pl?id_sitemap=111&language=EN
- [15] Metoda LT [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z <http://archive.metalformingmagazine.com/1996/01/laser.htm>
- [16] Metoda PRETEX [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.salzgitter-flachstahl.de/en/Produkte/kaltfein_oberflaechenveredelte_produkte/pretex
- [17] Školní materiály mikroskopických textur, TUL
- [18] RUML, V., SOUKUP, M.: Galvanické pokovování, SNTL, Praha 1981
- [19] SEDLÁČEK, V.: Povrchy a povlaky kovů, skripta ČVUT, Praha 1992
- [20] DOŠKÁŘ, J.: Základy galvanotechniky, SNTL, Praha 1953
- [21] Galvanické zinkování [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z http://www.salzgitter-flachstahl.de/en/Ueber_uns/Produktionsanlagen/Oberflaechenveredelung/Elektrolytische_Verzinkung/
- [22] Galvanické zinkování [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/de/publikationen/produktinformationen/auto.jsp>
- [23] VOCEL, M. - DUFEK, V. - A KOLEKTIV: Tření a opotřebení strojních součástí, SNTL, Praha 1976
- [24] ŠTĚPINA, V. - VESELÝ, V.: Maziva v tribologii. VEDA Bratislava, 1985, ISBN 71-059-85
- [25] BLÁŠKOVIČ, P. - BALLA, J. - DZIMKO, M.: Tribológia. Alfa Bratislava 1990



-
- [26] Geometrie povrchu [online]. [cit. duben 2011]. Dostupné z <http://www.nanocon.cz/data/metal2005/sbornik/papers/142.pdf>
 - [27] DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 13565 – Normy parametrů drsnosti povrchu
 - [28] TMĚJ, J. – MIKEŠ, V.: Teorie tváření, skripta VŠST, Liberec 1981
 - [29] TIŠNOVSKÝ M., MÁDLE L.: Hluboké tažení plechu na lisech, Praha 1990, SNTL, ISBN 80-03-00221-4
 - [30] BAREŠ, K. - A KOLEKTIV: Lisování SNTL, Praha 1971
 - [31] BRENDL, H. - A KOLEKTIV: Tribotechnika, SNTL Praha 1984
 - [32] BOHÁČEK, F. - A KOLEKTIV: Části a mechanismy strojů II, Skripta VUT Brno, 1983
 - [33] SOLFRONK, P.: Metodika měření koeficientu tření zkouškou protahováním pásky, výzkumná zpráva č. HČ 2350/478, Liberec 2001



7 SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Materiálový list maziva ANTICORIT PL 3802-39 S |
| Příloha 2 | Materiálový list maziva ANTICORIT MULTIDRAW PL 61 |
| Příloha 3 | Materiálový list odmašťovadla D-sol 100 |

ANTICORIT PL 3802-39 S

Popis:

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikorozi olej i tvářecí mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikorozi ochrana i za extrémních klimatických podmínek
- optimální tvářecí výkon i pro obtížné tahy
- vhodnost pro zušlechtěné plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy
- kompatibilita se všemi běžnými lepicími systémy výroby automobilů
- vysoká snášenlivost s katalytickými laky a laky nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromátů.

Použití:

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářecí látka bezprostředně před tvářením.

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválcováním.

Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C.

Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40°C minimálně 5 let

Charakteristika

Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Číslo barvy	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg/m ³	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí	°C	196	DIN ISO 2592
Obsah vody	% hmotnosti	< 0,2	DIN 51 777-2
Odstranitelnost	-	vyhovuje	VW 52.02
Obsah aromátu v základovém oleji	% hmotnosti	< 7	Zkušební metoda VN čis. TML 1 *)
Antikorozi vlastnosti (St 1405)			
Kondenzační komora	h	200	ASTM D 1748
Klimatická komora	cykly	> 20	DIN 51 386-1
Solná komora	h	24	DIN 50 021 SS

*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited

MULTIDRAW PL 61**Popis:**

- vodou nemísitelný, thixotropní prelubricant
- se syntetickými mazivy
- obsahuje inhibitory proti stárnutí a korozi jakož i EP přísady
- vynikající ochranné vlastnosti proti korozi
- velmi dobré tažné vlastnosti přičemž je často zbytečné dodatečné mazání před tvářením
- má dobrou snášenlivost s rozdílnými lakovými systémy katodického ponorného lakování
- formulované součásti produktu odpovídají dnešnímu stavu nám známých seznamů negativ

Typická charakteristika:

Zápach		jemný	
Barva		světlejší než 5,5	DIN ISO 2049
Hustota/15°C	[kg/m ³]	890	DIN 51 757
Viskozita/40°C	[mm ² /s]	58	DIN 51 562
Bod vzplanutí	[°C]	> 180	DIN ISO 2592
Odstranitelnost		dobrá	VW-Zkoušky
52.02			
Korozní procesy			
Měnicí se klima s			
tvorbou vodní sraženiny		15 cyklů	DIN 50 017
Test s ostřikem slané vody	16 h	bez vzniku rzi	DIN 50 021
	24 h	max. 5% plochy se rží	

POUŽITÍ:

MULTIDRAW PL 61 se používá převážně ve válcovnách. Produkt vykazuje vynikající snášenlivost se všemi nepokrytými i pokrytými povrchy jemných plechů. Vynikající ochrana proti korozi poskytuje optimální konzervaci polotovarů při skladování a dopravě také v extrémních klimatických podmínkách.

Na základě svého složení se **MULTIDRAW PL 61** výborně hodí pro beztržkové obrábění, jako např. protahování. Dobrá schopnost zachycení umožňuje vysokou ochranu plechu a nástrojů. Vzhledem ke své přilnavosti neodkapává produkt ani při dlouhém skladování.

Vedle základního poolejování ve válcovnách se osvědčuje **MULTIDRAW PL 61** v lisovnách k plošnému dodatečnému poolejování a k dodatečnému olejování kritických míst pro tah.

Tyto údaje odpovídají našim současným znalostem. Nezavazují zpracovatele povinnosti provádění vlastních zkoušek. Z našich údajů nemohou být vyvozována právně závazná zajištění určitých vlastností nebo způsobilost pro konkrétní účel použití. Příjemce našich výrobků je povinen vést v patrnosti a dodržovat stávající právní předpisy, týkající se manipulace a užití výrobků.



Technické údaje:

Popis:

kapalina D-sol 100 je směsí syntetických isoparafinických uhlovodíků bez obsahu halogenů

Použití:

k bezoplachovému odmašťování a čištění dílů za studena v ultrazvukových vanách, postřikových, máčecích nebo ručních strojích, jako náhrada lakových benzínů, tri- a perchloretanu, ideální pro opravy, údržby, průmyslové pivozy, lakovny, galvanovny, elektrotechniku

Vlastnosti:

- vynikající čistící schopnost
- účinnost na většinu olejů, tuků, vazelin a vosků
- vyhovující odpařivost
- bez zápachu
- nepoškozuje čištěný povrch
- nezpůsobuje korozi materiálů
- ideální pro ocel, hliník, zinek, měď, titan
- vysoká sytnost
- zasychá bez map
- nízký obsah aromátů (do 0,002 % hm)
- dermatologicky bez problémů
- minimální zatížení ovzduší
- použitelný s PEHD, PA66, ABS, PET, PVC, PTFE, PVF, PVDF, NBR
- nepoužitelný s POLYSTYREN, SBR, EPDM

Parametry:

bod vzplanutí: 58 °C
hustota při 15°C: 761 kg/m³
viskozita při 25°C: 1,09 mm²/s
třída hořlavosti: III.

Likvidace:

společnost QTS CZ s.r.o. garantuje na území ČR zpětný odběr znečištěné náplně

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

27. května 2011

.....
Marek Dvořák

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

27th May 2011

.....
Marek Dvořák